Natur und Mensch

IV

THE UNIVERSITY
OF ILLINOIS
LIBRARY

500
N218
v.4

Return this book on or before the
Latest Date stamped below.

University of Illinois Library

NOV 27 1933

L161—H41

Natur und Mensch

Natur und Mensch

Die Naturwissenschaften und ihre Anwendungen

Herausgegeben von Dr. C. W. Schmidt

Gliederung des Werkes

Erster Band: **Weltraum und Erde,** bearbeitet von Dr. H. H. Kritzinger und Dr. C. W. Schmidt.

Zweiter Band: **Das Leben und seine Entwicklung,** bearbeitet von Prof. Dr. C. Schäffer, Prof. Dr. W. Gothan und Prof. Dr. E. Freiherr Stromer v. Reichenbach.

Dritter Band: **Der Mensch als Individuum und Rasse,** bearbeitet von Dr. F. Cappeller und Prof. Dr. G. Kraitschek.

Vierter Band: **Die angewandten Naturwissenschaften,** bearbeitet von Geh. Hofrat Prof. Dr. Otto Wiener, Prof. Dr. Hugo Kauffmann, Dr. H. H. Kritzinger, Geh. Bergrat Prof. Dr. K. Keilhack, Dr. W. Kotte, Regierungsrat Dr. H. Voelkel, Prof. Dr. Fritz Lenz, Prof. Dr. Oskar Kende.

Natur und Mensch

Vierter Band

Die angewandten Naturwissenschaften

Natur und Mensch

Die Naturwissenschaften und ihre Anwendungen

Herausgegeben von Dr. C. W. Schmidt

Vierter Band

Die angewandten Naturwissenschaften

Berlin und Leipzig 1931

Walter de Gruyter & Co.

vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung :=: J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung
Georg Reimer :=: Karl J. Trübner :=: Veit & Comp.

Die angewandten Naturwissenschaften

Von

Geh. Hofrat Prof. Dr. Otto Wiener
Prof. Dr. Hugo Kauffmann, Dr. H. H. Kritzinger
Geh. Bergrat Prof. Dr. K. Keilhack, Dr. W. Kotte
Regierungsrat Dr. H. Voelkel, Prof. Dr. Fritz Lenz
Prof. Dr. O. Kende

Mit 284 Abbildungen im Text und 9 Tafeln

Berlin und Leipzig 1931
Walter de Gruyter & Co.
vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung :: J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung
Georg Reimer :: Karl J. Trübner :: Veit & Comp.

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten

Copyright by Walter de Gruyter & Co.
vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung :-: J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung
Georg Reimer :-: Karl J. Trübner :-: Veit & Comp.
Berlin und Leipzig 1931

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig

Printed in Germany

Vorwort zum vierten Band.

Während in den bisherigen drei Bänden des Werkes „Natur und Mensch" die einzelnen Gebiete der Naturwissenschaften behandelt worden sind, nämlich im ersten Band die anorganischen Naturwissenschaften (Astronomie, Geophysik, Mineralogie und Geologie), im zweiten Band die biologischen Wissenschaften (Allgemeine Biologie, Paläontologie und die heutigen Lebensformen), im dritten Band der Mensch als Individuum und Rasse (Ontogenie, Anatomie und Physiologie, sowie Prähistorie und Rassenkunde) bringt der vorliegende Schlußband die Grundlagen der Naturwissenschaft und die einzelnen Zweige der angewandten Naturwissenschaften zur Erörterung. Nach einer Einführung in die Tatsachen und Probleme der Physik und Chemie werden die einzelnen Gebiete der Naturwissenschaften in der Reihenfolge der vorhergehenden Bände behandelt, und zwar wird vor allem ihre Verknüpfung mit dem Leben der Gegenwart an zahlreichen Beispielen gezeigt. Das Studium dieses Bandes erweist deutlich, daß die heutige Kultur auf den Naturwissenschaften fußt und daß alle ihre Fortschritte, deren wir uns zu erfreuen haben, durch naturwissenschaftliche Erkenntnisse bedingt sind.

Der Herausgeber spricht nach Vorliegen sämtlicher Bände allen Mitarbeitern, die zum Gelingen dieses Sammelwerkes beigetragen haben, seinen Dank aus, insbesondere auch Herrn Prof. K. Lichtenecker, der nach dem Ableben Geheimrat Wieners die beiden physikalischen Abschnitte des vierten Bandes einer genauen Revision unterzog und aus Eigenem einen Beitrag über die letzten Fortschritte der Physik hinzufügte.

Berlin, im Juni 1931.

Der Herausgeber.

943131

Inhalt des vierten Bandes

Seite

Erster Teil: **Die physikalischen Grundlagen des Weltbildes.** Von Geh.-Rat Prof. Dr. Otto Wiener 1

I. Grundlegende Erscheinungen, Begriffe und Gesetze 3
1. Zur Einführung 3
2. Die Bewegung 4
3. Kraft und Masse. Grundgesetz der Kraftlehre (Mechanik) 7
4. Die Zusammensetzung von Bewegungen. Das Parallelogramm der Kräfte 11
5. Die Energie (Macht) und das Gesetz der Erhaltung der Energie 15
6. Allgemeine Kraftlehre (Mechanik) 17
7. Kraftlehre der Flüssigkeiten und Gase 25
8. Anfangsgründe der Wärmelehre 29
9. Wärmeenergie (Macht der Wärme) 31
10. Zustandsformen (Aggregatzustände) 32
11. Die Lichtstrahlen und ihre Energie 34
12. Elektrizität im Gleichgewicht (Elektrostatik) 42
13. Magnetismus 48
14. Galvanische Elemente und elektrische Ströme 49
15. Elektromagnetismus 52
16. Induktionsströme (durch Magnetfeldschwankungen erzeugte Ströme) . . . 54
17. Die absolute Maßordnung (absolutes Maßsystem) 57

II. Schwingungen und Wellen 59
18. Schwingende Bewegung (mechanische Schwingung) 59
19. Lehre vom Schall (Akustik) 60
20. Lichtwellen 63
21. Elektrische Schwingungen und elektromagnetische Wellen 69
22. Elektromagnetische oder Ätherwellen aller Wellenlängen 73

III. Die kleinsten selbständigen Stoffgebilde. Molekeln, Atome, Ionen und Elektronen 78
23. Allgemeine Molekularphysik 78
24. „Kinetische Gastheorie" 81
25. Elektrolyse und Ionen 86
26. Elektronen im freien Zustand. Kathodenstrahlen 90
27. Die Elektronen in verschiedenen Erscheinungsformen 93
28. Kanalstrahlen. Isotopen. Stromübergang in verdünnten Gasen 97
29. Röntgen- und Radiumstrahlen. Radioaktive Zerfallsreihen 99
30. Grundlagen zu den heutigen Vorstellungen über den Atombau 103

IV. Der Weg zum einheitlichen Aufbau der Physik 106
31. Die Erweiterung unserer Sinne durch die Physik 106
32. O. Wieners universale Ättertheorie 108
33. Die neuesten physikalischen Erkenntnisse und Theorien. Von Prof. Dr. Karl Lichtenecker 111

Seite

Zweiter Teil: **Grundzüge der Chemie.** Von Prof. Dr. Hugo Kauffmann 115

I. Die Grundstoffe 117
A. Chemische Vorgänge 117
B. Die Moleküle 123
a) Der Wasserstoff 123
b) Der Sauerstoff 126
c) Das Wasser 128
d) Das Molekulargewicht 131

II. Anorganische Verbindungen 134
A. Die Verbrennungen 134
B. Oxyde des Kohlenstoffs 137
C. Oxydation 142
D. Reduktion 146
E. Chloride 150
F. Die Salze 154
a) Die Säuren 154
b) Die Basen 158
c) Bildung der Salze 162
d) Eigenschaften der Salze 166
e) Die Elektrolyte 171
f) Die Jonen 176

III. Die organischen Verbindungen 180
A. Die Isomerie 180
B. Die Kohlenwasserstoffe 185
C. Die organischen Sauerstoffverbindungen 188
D. Die organischen Stickstoffverbindungen 195
E. Die aromatischen Verbindungen 199

IV. Der Aufbau der Materie 204
A. Die Erscheinungsformen 204
B. Die chemische Verwandtschaft 210
C. Das periodische System 215
D. Die radioaktiven Elemente 219
E. Die Natur der Atome 222

Dritter Teil: **Angewandte Physik.** Von Geh.-Rat Prof. Dr. Wiener . . 227

1. Einführung 229
2. Angewandte Lehre vom Gleichgewicht der Kräfte (Statik) 229
3. Einfache Maschinen 231
4. Angewandte Kraftlehre 232
5. Angewandte Wasser- und Luftkraftlehre 234
6. Luftfahrt 237
7. Neuere Wetterkunde (Meteorologie) 241
8. Aus der angewandten Schallehre 246
9. Angewandte Wärmekraftlehre 247
10. Angewandte Lehre vom Licht 250
11. Starkstromtechnik 257
12. Schwachstromtechnik und drahtlose Fernzeichen (drahtlose Telegraphie und Telephonie) 260

Vierter Teil: **Angewandte Chemie.** Von Prof. Dr. Hugo Kauffmann . 267

I. Die Heizstoffe 269
II. Die Metalle 280
III. Die Silikate 288
IV. Die Kohlehydrate 294
V. Die Fette 304

Seite

Fünfter Teil: **Angewandte Astronomie.** Von Dr. H. H. Kritzinger . . . 309

I. Ballistische Beziehungen der Astronomie . . . 312
II. Kalenderfragen . . . 313
III. Astronomische Chronologie . . . 317
IV. Astronomische Ortsbestimmung . . . 319
V. Meteorologische Probleme . . . 323
VI. Ebbe und Flut . . . 329
VII. Beziehungen der Astronomie und Physiologie . . . 331

Sechster Teil: **Angewandte Geologie.** Von Prof. Dr. Konrad Keilhack . 335

I. Einleitung . . . 337
II. Geologie und Landwirtschaft . . . 340
III. Verhütung von Erdbeben- und Vulkanschäden . . . 341
IV. Das Wasser im Boden . . . 342
a) Wasserversorgung . . . 342
b) Wasserbeseitigung . . . 349
c) Kanalisation . . . 352
d) Talsperrenbau . . . 354
e) Bewässerungsanlagen . . . 355
f) Heilquellen und Bäder . . . 356
V. Geologie und Bauwesen . . . 359
a) Eisenbahnbau . . . 359
b) Beschaffung von Rohstoffen . . . 364
VI. Die Geologie im Kriege . . . 368
VII. Nutzbare Ablagerungen und ihre Gewinnung . . . 371
a) Erze und Metalle. Allgemeines . . . 371
b) Gewinnung der Erze und Metalle . . . 373
c) Vorkommen und Gewinnung der fossilen Brennstoffe . . . 378
d) Die Salze und ihre Gewinnung . . . 397
e) Sonstige nutzbare Lagerstätten . . . 401

Siebenter Teil: **Angewandte Botanik.** Von Dr. W. Kotte . . . 415

I. Landwirtschaftliche Kulturpflanzen . . . 417
II. Faser- und Gespinstpflanzen . . . 420
III. Nutzhölzer . . . 423
IV. Gartenblumen und Zierpflanzen . . . 426
V. Genußmittel . . . 429
VI. Gewürze . . . 432
VII. Heil- und Giftpflanzen . . . 433
VIII. Speisepilze . . . 435
IX. Niedere Pilze, Pflanzenkrankheiten . . . 438
X. Pflanzenernährung und Düngung . . . 450
XI. Pflanzenzüchtung . . . 453

Achter Teil: **Angewandte Zoologie.** Von Regierungsrat Dr. H. Doelkel 457

I. Einleitung . . . 459
II. Haustierzoologie . . . 464
III. Forstzoologie . . . 470
IV. Landwirtschaftliche Schädlinge . . . 476
V. Medizinische Zoologie . . . 499

Seite
VI. Wasserwirtschaftliche Zoologie 504
VII. Bekämpfungsmaßnahmen 505
VIII. Organisation des Pflanzenschutzdienstes 516
IX. Kulturelle Verwendung von Tieren und tierischen Erzeugnissen 517
X. Schlußwort 523

Neunter Teil: **Angewandte Anthropologie.** Von Prof. Dr. Fritz Lenz . . 525

Zehnter Teil: **Angewandte Geographie.** Von Prof. Dr. Oskar Kende . . 581

Einleitung 583
I. Die kulturelle Gliederung des Menschengeschlechts 583
II. Grundzüge der politischen Geographie 592
III. Die Siedlungen 599
IV. Die Volksdichte 609
V. Verkehrswege und Verkehrsmittel. Die Wege des Weltverkehrs 612
Register 641

Erſter Teil

Die phyſikaliſchen Grundlagen des Weltbildes

Von Geh. Rat Prof. Dr. Otto Wiener

Gliederung des ersten Teiles

Seite

I. Grundlegende Erscheinungen, Begriffe und Gesetze 3

1. Zur Einführung 3
2. Die Bewegung 4
3. Kraft und Masse, Grundgesetz der Mechanik 7
4. Die Zusammensetzung von Bewegungen. Das Parallelogramm der Kräfte . . 11
5. Die Energie (Macht) und das Gesetz der Erhaltung der Energie 15
6. Allgemeine Kraftlehre (Mechanik) 17
7. Kraftlehre der Flüssigkeiten und Gase 25
8. Anfangsgründe der Wärmelehre 29
9. Wärmeenergie (Macht der Wärme) 31
10. Zustandsformen (Aggregatzustände) 32
11. Die Lichtstrahlen und ihre Energie 34
12. Elektrizität im Gleichgewicht (Elektrostatik) 42
13. Magnetismus 48
14. Galvanische Elemente und elektrische Ströme 49
15. Elektromagnetismus 52
16. Induktionsströme (durch Magnetfeldschwankungen erzeugte Ströme) 54
17. Die absolute Maßordnung (absolutes Maßsystem) 57

II. Schwingungen und Wellen 59

18. Schwingende Bewegungen (mechanische Schwingungen) 59
19. Lehre vom Schall (Akustik) 60
20. Lichtwellen 63
21. Elektrische Schwingungen und elektromagnetische Wellen 69
22. Elektromagnetische oder Ätherwellen aller Wellenlängen 73

III. Die kleinsten selbständigen Stoffgebilde. Molekeln, Atome, Ionen und Elektronen 78

23. Allgemeine Molekularphysik 78
24. „Kinetische Gastheorie“ 81
25. Elektrolyse und Ionen 86
26. Elektronen im freien Zustand. Kathodenstrahlen 90
27. Die Elektronen in verschiedenen Erscheinungsformen 93
28. Kanalstrahlen. Isotopen. Stromübergang in verdünnten Gasen 97
29. Röntgenstrahlen und Radiumstrahlen. Radioaktive Zerfallsreihen 99
30. Grundlagen zu den heutigen Vorstellungen über den Atombau 103

IV. Der Weg zum einheitlichen Aufbau der Physik 106

31. Die Erweiterung unserer Sinne durch die Physik 106
32. O. Wieners universale Ättertheorie 108
33. Die neuesten physikalischen Erkenntnisse und Theorien. Von Prof. Dr. Karl Lichtenecker 111

I. Grundlegende Erscheinungen, Begriffe und Gesetze.

1. Zur Einführung.

Die Physik ist für unser Weltbild von großer Bedeutung und ist es gerade neuerdings in besonderem Maße geworden. Denn während die Biologie, die Lehre von den Lebensvorgängen, die verwickeltsten Naturerscheinungen und die Entstehung der geistigen Tätigkeit behandelt, betrachtet die Physik die allereinfachsten Erscheinungen der unbelebten Welt mit Ausschluß derjenigen, bei denen die stofflichen Eigenschaften sich ändern, ein Gebiet, das der Chemie zufällt.

Je mehr es der Physik gelingt, verwickeltere Vorgänge auf allereinfachste zurückzuführen, um so mehr nähert sie sich dem Urgrund aller Erscheinungen, so daß von ihr die Auflösung der letzten Rätsel des Weltgeschehens zu erwarten ist.

Aber noch in einer anderen Richtung ist die Physik von Bedeutung geworden. Sie formt die schärfsten Begriffe, mit denen wir die Außenwelt zu meistern hoffen. Zwar kann sie als Erfahrungswissenschaft nicht immer so scharfe Begriffe bilden, wie die Mathematik, aber doch ist ihre Begriffsbildung der der Mathematik am meisten verwandt und darum ist sie vorbildlich geworden für die übrigen Naturwissenschaften, ja auch für manche Begriffe, die in der belebten Welt und in der menschlichen Gemeinschaft eine Rolle spielen.

Da die Physik nun eine Erfahrungswissenschaft ist und da die Erfahrung durch die Eingangspforten unserer Sinne geht, so ist es begreiflich, daß Teilgebiete entstanden sind, die an die Beobachtung durch bestimmte Sinne anknüpfen, so die Lehre vom Schall an die des Ohres und die Lehre vom Licht an die des Auges. Für die magnetischen Erscheinungen z. B. haben wir aber überhaupt keinen unmittelbaren Sinn. So kommt es, daß die übliche Einteilung der Physik nicht folgerichtig ist und erst allmählich, je mehr wir uns der „Erweiterung der Sinne" durch Apparate verschiedenster Art bedienen, werden wir eine Einteilung der Physik erwarten dürfen, die von der Beschränkung durch unsere natürlichen Sinne frei ist. Einstweilen erscheint es besonders für den, der Eingang in das Verständnis der Physik sucht, zweckmäßig, sich in gewisser Weise an die geschichtliche Folge physikalischer Erkenntnis zu halten.

Daher soll die vorliegende Darstellung in ihrem ersten Hauptabschnitt beginnen mit den Grunderscheinungen, Begriffen und Gesetzen auf den wesentlichsten Gebieten der Physik. Noch eine andere Maßnahme wird das Verständnis erleichtern, wenn nämlich diejenigen Gebiete zusammengestellt werden, die dieselben begriff-

lichen Verfahren erfordern. Das ist der Grund, weshalb auf den ersten Abschnitt ein zweiter folgen soll, der die Schwingungen und Wellen behandelt, sowohl auf dem Gebiete der Kraftlehre (Mechanik), als auch auf denen des Schalles, des Lichtes und der Elektrizität. Diese Gebiete beziehen sich nur auf die allgemeinsten Seiten der physikalischen Erscheinungen. Es gibt aber dann eine große Reihe von Erscheinungen, deren Verständnis unmöglich wäre, wenn man nicht die Annahme von kleinsten selbständigen Stoffgebilden, von Molekeln, Atomen, Ionen und Elektronen machte. Das ist das Gebiet der Molekularphysik und der Elektronenphysik, das im dritten Hauptabschnitt behandelt werden wird. Die allerneuesten Entdeckungen der Physik stehen unter dem Zeichen ganz besonderer Lehren oder Theorien, und deshalb folgt ein vierter Abschnitt über die Gedankenwerkzeuge der Physik, worin insbesondere auch die Relativitätstheorie und die Quantentheorie besprochen werden.

Damit hat man alle Hilfsmittel an der Hand, mit denen man in die äußersten Tiefen der Kleinwelt vordringen kann, nämlich bis zu dem Aufbau der Atome, der im fünften Abschnitt besprochen wird.

Der sechste und letzte Abschnitt soll dann den Ausblick auf das Ziel eröffnen, dem die Physik in ihrer weiteren Entwicklung offenbar zustrebt, d. i. zu einem einheitlichen Aufbau der Naturerkenntnis.

2. Die Bewegung.

Wenn auch im Altertum und vereinzelt im Mittelalter bedeutsame Ansätze zu Teilen der Physik gemacht worden sind, so muß man doch sagen, daß die neuere Physik erst mit den Entdeckungen Galileis ihren Anfang genommen hat, und von diesen sind die bedeutendsten die Gesetze des freien Falles und der Bewegungsvorgänge überhaupt. Vorbildlich ist dabei die Art, wie Galilei erst scharfe Begriffe formte, um die Bewegungsvorgänge in Worte zu fassen. Man kann nichts Besseres tun, als ihm zunächst auf diesem Wege zu folgen.

Von Bewegung spricht man, wenn der Abstand zweier Körper sich ändert. Dabei wollen wir die Lage eines Körpers durch irgend eine Marke auf ihm kennzeichnen, einen Punkt, den man als materiellen oder stofflichen Punkt zu bezeichnen pflegt. Betrachten wir zunächst nur die Bewegung auf einer geraden Bahn, etwa die einer Lokomotive auf geradem Geleise und verfolgen ihren Abstand von der Haltestelle. Dann kann man diese Bewegung am einfachsten in der Weise bildlich darstellen, daß man auf einer geraden Linie, der Bezugsachse oder Abszissenachse die Zeit t (tempus) aufträgt und senkrecht dazu die von der Lokomotive zurückgelegte Strecke s (spatium) auf einer Achse, die man als Ordinatenachse oder zugeordnete Achse zu bezeichnen pflegt. Denken wir uns nun, daß die Lokomotive zunächst still steht, nach einer Weile sich langsam, dann immer schneller in Bewegung setzt, um schließlich unter Verzögerung ihres Laufes wieder stehenzubleiben, dann wird der ganze Bewegungsvorgang durch die beistehende Abb. 1 dargestellt.

Offenbar ist das noch eine recht verwickelte Bewegung. Die einfachste Bewegung, von der man ausgehen kann und von der auch Galilei ausging, ist die gleichförmige Bewegung (Abb. 2). Darunter versteht man eine solche Bewegung, bei

der in gleichen Zeiten immer gleiche Wege zurückgelegt werden. Befand sich der Punkt zur Zeit 0 am Ausgangspunkt unseres Bezugsgerüstes (Koordinatensystems), so wird dann die Bewegung offenbar durch eine ihn enthaltende gerade Linie dargestellt. Denn nach einer Sekunde hat der stoffliche Punkt etwa die Strecke c zurückgelegt, nach 2 Sekunden 2 c, nach t Sekunden t·c. Alle diese Punkte müssen also, wie aus den Gesetzen der Ähnlichkeit hervorgeht, auf einer Geraden liegen. Die Lage dieser geraden Linie ist bestimmt durch die Strecke c, d. h. den Weg, den der stoffliche Punkt in 1 Sekunde zurücklegt. Man nennt ihn die Geschwindigkeit c (celeritas) der gleichförmigen Bewegung.

Bezeichnet man ferner den zurückgelegten Weg mit s, so gilt also die Gleichung: $s = c \cdot t$, oder in Worten: Weg gleich Geschwindigkeit mal Zeit.

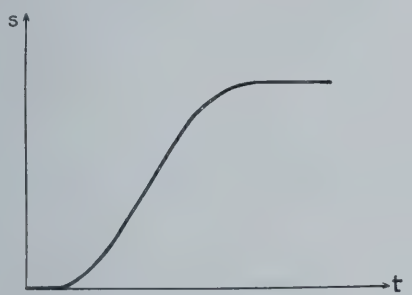


Abb. 1. Darstellung der zurückgelegten Strecke s in Abhängigkeit von der Zeit t.

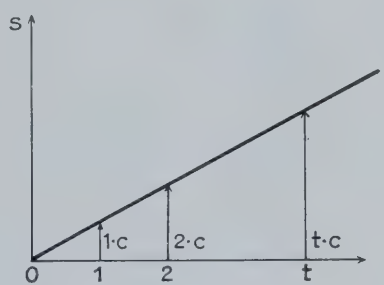


Abb. 2. Gleichförmige Bewegung.

Kennt man umgekehrt den Weg zu einer gegebenen Zeit t, so läßt sich die Geschwindigkeit berechnen aus: $c = \frac{s}{t}$.

Die Maßzahl der Geschwindigkeit hängt daher ab von der Maßzahl des Weges und der Zeit. Als Zeiteinheit wird zunächst die Sekunde angenommen, als Längeneinheit benutzt man bei der technischen Ordnung der Maße (technisches Maßsystem) das Meter, bei der physikalischen Ordnung (absolutes Maßsystem) das Zentimeter. Die Art, wie die abgeleitete Größe von den Grundgrößen abhängt, pflegt man als seine Dimension oder seine Größenbeziehung zu bezeichnen. Demnach hat die Geschwindigkeit 1 ein Körper, der gleichmäßig bewegt, in 1 Sekunde den Weg von 1 cm zurückgelegt; man bezeichnet sie mit 1 cm/sec.

Bewegt sich der Körper nicht mit gleichförmiger Geschwindigkeit, so spricht man von einer beschleunigten oder verzögerten Bewegung, wobei die verzögerte auch als negativ beschleunigte aufgefaßt werden kann. Zur Darstellung der beschleunigten Bewegung empfiehlt es sich, nicht den Weg, sondern die Geschwindigkeit v (velocitas) als die zur Zeit zugeordnete Größe zu wählen. Wollte man also die oben geschilderte Bewegung einer Lokomotive durch dieses neue Bezugsgerüst darstellen, so würde die Abb. 3 herauskommen, aus der man ersieht, daß die Geschwindigkeit, anfangs Null, anwächst, einen Höchstwert erreicht und dann wieder zu Null abfällt. Der während des Zeitteilchens Δt mit der in diesem Augenblicke herrschenden Geschwindigkeit v zurückgelegte Weg ist gleich dem Flächeninhalte des schmalen Rechteckes $v \cdot \Delta t$; der gesamte Weg also gleich der gestrichelten Fläche der Abb. 3.

Der einfachste Fall der gleichförmigen Bewegung wird dann dargestellt durch eine zur Abschnitts- oder Bezugsachse gleichlaufende Linie (Abb. 4) und diese Darstellung gewährt uns zugleich die Möglichkeit, den Weg abzuleiten. Denn da ja der Weg gleich dem Vielfachen von Geschwindigkeit und Zeit ist, so wird der Weg s durch das Rechteck dargestellt mit den beiden Seiten v und t.

Von besonderer Wichtigkeit ist die gleichförmig beschleunigte Bewegung, worunter Galilei eine Geschwindigkeit versteht, die in gleichen Zeiten um gleichviel

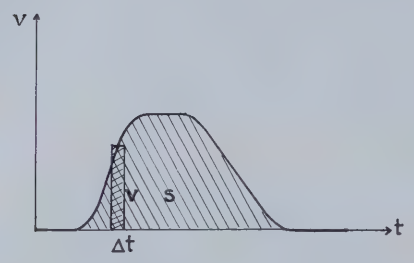


Abb. 3. Darstellung der Geschwindigkeit v in Abhängigkeit von der Zeit t.

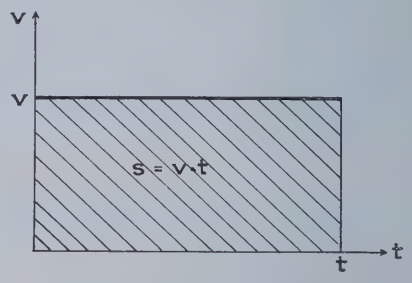


Abb. 4. Gleichförmige Bewegung in der Geschwindigkeit-Zeit-Darstellung.

zunimmt. Eine derartige Bewegung ist in Abb. 5 dargestellt, die äußerlich mit Abb. 2 übereinstimmt, sich aber davon dadurch unterscheidet, daß die zugeordneten Größen jetzt Geschwindigkeiten sind, während es früher Wege waren.

Geht die Geschwindigkeit von der Geschwindigkeit Null aus, so wird sie nach einer Sekunde etwa b sein, nach 2 Sekunden 2 b und nach t Sekunden t b. Wir erhalten, wenn wir die Endgeschwindigkeit mit v bezeichnen, die Gleichung: $v = b \cdot t$.

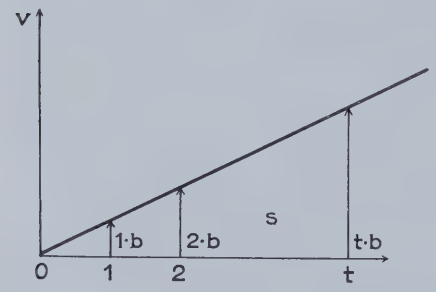


Abb. 5. Gleichförmige Beschleunigung.

Die ganze Bewegung wird also durch die Größe b gekennzeichnet, das ist der Geschwindigkeitszuwachs in 1 Sekunde, den man als die Beschleunigung bezeichnet. Dies ist einer der wichtigsten Begriffe in der ganzen Physik. Man kann also die letzte Gleichung in Worten so ausdrücken: Endgeschwindigkeit gleich Beschleunigung mal Zeit.

Kennt man Endgeschwindigkeit und Zeit bei einer gleichförmig beschleunigten Bewegung, so berechnet sich die Beschleunigung aus der Gleichung: $b = \frac{v}{t}$.

Da die Einheit von v in der physikalischen Maßordnung 1 cm/sec war, so bezeichnet man die Einheit der Beschleunigung mit 1 cm/sec^2.

Jetzt entsteht die wichtige Frage, welches der Weg ist, der von einem Körper zurückgelegt wird, der von der Ruhe ausgehend eine gleichförmig beschleunigte Bewegung ausführt. Die Antwort ist schon in dem obigen festgelegt. Wir brauchen nur, wie früher in Abb. 3, jetzt in Abb. 5 den Inhalt des Dreiecks zu berechnen, dessen Bezugsseite $= t$ und dessen zugeordnete Seite $= v$ ist. Es wird also: $s = \frac{1}{2} v \cdot t$. Da aber $v = b \cdot t$, so ist auch: $s = \frac{1}{2} b\, t^2$, d. h. wir kommen zu dem

wichtigen Ergebnis: Der Weg, den ein von der Ruhe in gleichförmig beschleunigte Bewegung übergehender Körper nach der Zeit t zurückgelegt hat, ist gleich dem halben Vielfachen der Beschleunigung und dem Quadrat der Bewegungszeit.

Mit diesem Rüstzeug bewaffnet, können wir uns jetzt der Untersuchung der in der Natur wirklich vorkommenden Bewegungen zuwenden.

3. Kraft und Masse. Grundgesetz der Kraftlehre (Mechanik).

Bisher wurden lediglich mögliche Bewegungen untersucht. Wie die Bewegungen in der Natur sich abspielen, das muß jetzt untersucht werden. Zwar stimmten die alten Physiker mit Galilei darin überein, daß ein Körper, der sich beispielsweise auf einer wagrechten Ebene in Ruhe befindet, nicht von selbst in Bewegung kommt, wenn er nicht einen Anstoß erhält, oder wenn nicht irgend etwas auf ihn einwirkt, das man als eine Kraft bezeichnet. Aber nun ist die Frage, ob ein Körper, der einmal in Bewegung ist, seine Bewegung beibehält, wenn keine Kraft auf ihn einwirkt, oder ob er von selbst zur Ruhe kommt. Dieser letztere Fall scheint derjenige zu sein, den man unmittelbar beobachtet. Damit ein Wagen auf einer Straße fahren könne, muß er dauernd von einem Pferd oder einer Maschine angetrieben werden, und deshalb meinte Aristoteles, daß dauernd eine Kraft nötig sei, um einen Körper in gleichförmiger Bewegung zu erhalten.

Freilich verwickelte er sich mit dieser Ansicht in Schwierigkeiten, denn wenn man einen Körper, etwa einen Stein betrachtet, der durch die Luft fortgeschleudert wurde, so kommt er keineswegs sofort zur Ruhe, sondern behält seine Geschwindigkeit geraume Zeit bei, wenn sie auch ganz allmählich abnimmt.

Gerade an die Betrachtung des geworfenen Steins knüpft Galilei an und macht darauf aufmerksam, daß die Abnahme seiner Geschwindigkeit durch den Luftwiderstand bedingt sei, den man als eine Kraft, wenn auch als eine hemmende Kraft, bezeichnen müsse. Und genau so verhält es sich mit der Kugel, die auf einer wagrechten Ebene rollt. Sie kommt deshalb zur Ruhe, weil die Reibung auf dem Boden sie hemmt. Würde man die Reibung vollständig vermeiden, z. B. dadurch, daß man den Körper sich im luftleeren Raume bewegen ließe, dann dürfte er seine Geschwindigkeit überhaupt nicht verlieren; und das ist es ja, was wir auch bei den Himmelskörpern beobachten. Darum stellt Galilei und mit ihm Newton an die Spitze der Betrachtungen den Satz: Jeder Körper verharrt im Zustand der Ruhe oder der gleichformigen geradlinigen Bewegung, wenn keine Kraft auf ihn einwirkt.

Das ist eine der wichtigsten Abstehungen (Abstraktionen), die je in der Physik gemacht worden sind.

Gerade der Umstand, daß man von den Reibungskräften in einem großen Teil der Kraftlehre (Mechanik) absieht, ist es, der diese Wissenschaft so groß gemacht hat.

Wie bewegt sich aber ein Körper, auf den andauernd eine Kraft wirkt? Eine der einfachsten Kräfte, der wir allerorten begegnen, ist die Schwerkraft, und es fragt sich: wie bewegt sich ein Körper unter dem Einfluß der Schwerkraft? Wie fallen die Körper? Galilei ging dieser Frage sowohl durch mathematische Über-

legungen als auch durch den Versuch (das Experiment) zu Leibe und stellte fest, daß die zurückgelegten Wege mit dem Quadrat der Bewegungszeit anwachsen. Es handelt sich also nach dem Ergebnis des vorhergehenden Abschnitts beim Fall um eine gleichförmig beschleunigte Bewegung.

Später hat Atwood ein Verfahren angegeben, die Fallgeschwindigkeit zu vermindern, das auch für andere hierher gehörige Fragen von großer Bedeutung ist. Atwood benutzte eine möglichst reibungsfrei gelagerte Rolle (Abb. 6), über deren Rinne ein Faden gelegt ist, woran auf beiden Seiten zwei gleiche Gewichte G angehängt sind. Zunächst ist also das Ganze im Gleichgewicht. Bringt man jetzt aber auf der einen Seite ein Übergewicht p an, dann bewegt sich das beschwerte Gewichtsstück nach unten, das andere nach oben ziehend, und selbstverständlich ist diese Beschleunigung kleiner als beim freien Fall, da das Übergewicht, das als treibende Kraft auftritt, nicht bloß sich selbst, sondern auch die beiden anderen Gewichtsstücke in Bewegung zu setzen hat. Auch hier spielt zwar die Reibung eine Rolle, aber man kann sie dadurch beseitigen, daß man auf dem nach unten gehenden Gewicht ein kleines Übergewicht anbringt, das die Kraft der Reibung gerade aufzuheben vermag. So läßt sich feststellen, daß die Fallgeschwindigkeit, die nach einer Sekunde etwa b war, nach 2 Sekunden 2 b, allgemein nach t Sekunden $t \cdot b$ ist; d. h. die Begriffsbestimmung der gleichförmig beschleunigten Bewegung trifft auf unser Gebilde zu, das unter der gleichbleibenden Kraft des Übergewichts sich bewegt; und die Größe der Beschleunigung ist b.

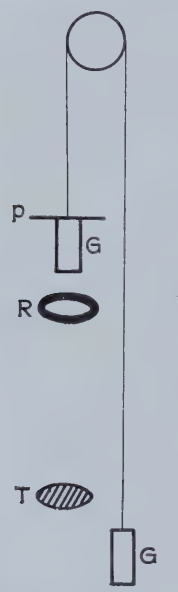


Abb. 6. Atwoodsche Fallmaschine.

Wenn nun die Fallbewegung mit dieser Beschleunigung erfolgt, so muß nach dem vorigen Abschnitt in der Zeit t der Weg $\frac{1}{2} b t^2$ zurückgelegt werden. Die unmittelbare Messung dieses Weges an der Atwoodschen Fallmaschine bestätigt diese Folgerung.

Wie ändert sich nun die Beschleunigung b, wenn das Übergewicht p verdoppelt wird?

Da ist erst die Vorfrage zu erledigen, wann sind zwei Übergewichte oder Kräfte gleich — wann ist eines doppelt so groß zu nennen als das andere? Man trifft die Bestimmung:

Zwei Kräfte sind einander gleich, wenn sie demselben Körper dieselbe Beschleunigung erteilen.

Legt man zwei gleiche Übergewichte zusammen, so hat man das doppelte Übergewicht. Mißt man jetzt die Beschleunigung des Gebildes mit diesem doppelten Übergewicht, so stellt sich heraus, daß die Beschleunigung doppelt so groß wird, und das gilt allgemein, so daß man den Satz so aussprechen kann:

Die Beschleunigung eines Körpers wächst im Verhältnis der Größe der ihn treibenden Kraft.

Nun erhebt sich noch eine andere Frage. Welche Rolle spielen die einander gleichen Gewichtsstücke G, die durch das Übergewicht angetrieben werden? Sie selbst tragen zur Beschleunigung als Kraft nichts bei. Dagegen spielen sie offenbar die Rolle eines Ballastes, einer Hemmung für die Bewegung.

Dieses Hemmende an dem Körper, das einer Kraft bedarf, um beschleunigt zu werden, nennt man mit Newton die Masse des Körpers und man sagt:

Zwei Massen sind einander gleich, wenn sie unter dem Einfluß derselben Kraft dieselbe Beschleunigung erfahren.

Die Gesamtmasse zweier gleichen Massen nennt man dann die doppelte Masse der einzelnen.

Man muß demnach von vornherein unterscheiden zwischen der Masse eines Gewichtsstückes, die in dem Widerstand gegen seine Beschleunigung, in seiner „Trägheit" beruht, und dem Gewicht desselben Stückes, das infolge der Erdanziehung eine Kraft darstellt.

Wenn wir also die beiden anzutreibenden Gewichtsstücke durch zwei untereinander gleiche andere ersetzen, die von dem gleichen Übergewicht gleichviel beschleunigt werden, so sind ihre Massen denen der zuerst verwendeten Gewichtsstücke gleich. Nimmt man jetzt auf beiden Seiten der Atwoodschen Maschine je zwei solche gleichen Massen zusammen und läßt sie durch das gleiche Übergewicht antreiben, das vorher nur die einfachen Massen beschleunigt hatte, so kann man feststellen, daß die Beschleunigung halb so groß wird wie zuvor. Allgemein stellt sich dann heraus, daß die Beschleunigung im umgekehrten Verhältnis zu den anzutreibenden Massen steht bei gleichem Übergewicht.

Damit hat man das allgemeine Grundgesetz der Kraftlehre gewonnen:

Die Beschleunigung, die ein Körper unter dem Einfluß einer Kraft erfährt, wächst im Verhältnis der Größe der Kraft und nimmt im umgekehrten Verhältnis ab mit der Größe der anzutreibenden Masse.

Bezeichnet man die Beschleunigung mit b, die Kraft mit k, die Masse mit m, so kann man bei geeigneter Wahl der Einheiten dieser Größen schreiben: $b = \frac{k}{m}$.

Da man mit der Fallmaschine sowohl die Gleichheit zweier Gewichte — als beschleunigende Kräfte — als auch die Gleichheit zweier Massen prüfen kann, so hat man damit auch feststellen können, daß zwei Gewichte einander gleich sind, wenn ihre Massen einander gleich sind.

Diesen Satz kann man auch dadurch prüfen, daß man zwei als gleich befundene Massen an eine Feder hängt, die nun als Gewicht wirkend eine gleiche Verlängerung der Feder hervorbringen.

Eine solche Federwage gestattet nämlich, Kräfte miteinander zu vergleichen. Hängt man an ihrem Ende ein Gewicht an, so wird die Feder verlängert, bis sie schließlich an einer bestimmten Stelle zur Ruhe kommt. Hält man die Feder fest und läßt das Gewicht los, so fällt es nach unten; hält man aber das Gewicht fest und läßt die Feder los, so schnellt sie nach oben. Wir haben hier also den Fall, daß zwei Kräfte auf das Gewichtsstück wirken: Die Schwerkraft (das Gewicht) des Stückes, die eine Beschleunigung nach unten hervorzubringen sucht und die Federkraft, die eine Beschleunigung nach oben hervorzurufen sucht. Da nun in Wirklichkeit überhaupt keine Bewegung eintritt, so haben wir es mit zwei Kräften zu tun, die dadurch einander das Gleichgewicht halten, daß sie demselben Körper gleichgroße Beschleunigungen, aber nach entgegengesetzten Richtungen zu erteilen suchen und

darum einander gleichgesetzt werden müssen. Findet man also, daß zwei Körper, deren Massen durch Beschleunigungsversuche als gleich erkannt werden, nun als Gewichte an die Feder angehängt, dieselbe gleich viel spannen, so heißt das, daß diese Gewichte auch einander gleich sind. Und dieser Satz läßt sich allgemein so ausdrücken:

Körper von gleichen Massen haben gleiche Gewichte.

Jetzt läßt sich aus den Versuchen mit der Atwoodschen Fallmaschine auch die Beschleunigung beim freien Fall berechnen. Man braucht sich nur zu denken, daß man die zu beschleunigenden Gewichtsstücke allmählich auf der einen Seite vereinigt, so daß dann der freie Fall eintreten muß. Dann muß sich die Beschleunigung g beim freien Fall zu der Beschleunigung b, die man beim Übergewicht p beobachtet hat, verhalten, wie das Gesamtgewicht P der Körper zum Übergewicht p. Da nun p, P und b bekannt sind, so läßt sich daraus die Fallbeschleunigung g berechnen. Sie findet sich in mittleren geographischen Breiten zu rund 981 cm/sec² oder 9,81 m/sec², d. h. der Geschwindigkeitszuwachs eines fallenden Körpers nach 1 Sekunde beträgt rund 10 m/sec. Der zurückgelegte Weg s läßt sich dann berechnen nach der Gleichung: $s = \frac{1}{2} g t^2$, d. h. der Körper legt in 1, 2, 3 Sekunden rund $5 \cdot 1 = 5$, $5 \cdot 4 = 20$, $5 \cdot 9 = 45$ m zurück; und dieses Ergebnis läßt sich leicht durch unmittelbare Beobachtung bestätigen.

Aristoteles hat behauptet, daß schwere Körper rascher fallen als leichte. Galilei hat Kugeln von verschiedenem Gewicht fallen lassen und fand, daß sie gleich rasch fallen. Man erkennt aber leicht, wie Aristoteles zu seiner Auffassung kam. Läßt man kleine Papierschnitzelchen oder Federn fallen, so flattern sie hin und her und brauchen viel längere Zeit, um zu Boden zu kommen, als Bleikugeln. Dieses Hin- und Herflattern der Federn ist jedoch bedingt durch den Luftwiderstand. Pumpt man eine lange Glasröhre aus, die auf beiden Seiten abgeschlossen ist, und in der sich Papierschnitzel samt Federn und Bleikugeln befinden, so beobachtet man, daß jetzt alle Körperchen gleich rasch fallen; und nur wenn man Luft zuläßt, tritt wieder das Flattern und langsamere Fallen der leichteren Körperchen ein.

Es ist nach dem Vorangehenden also wohl zu unterscheiden zwischen der Masse eines Körpers und seinem Gewicht. Seine Masse bleibt dieselbe, einerlei wo der Körper auf der Erde oder sonstwo im Weltall sich befinde. Überall würde er unter dem Antrieb der gleichen Kraft, z. B. einer Feder, dieselbe Beschleunigung erfahren. Das Gewicht des Körpers ändert sich dagegen von einem Punkt der Erde zum anderen entsprechend der Fallbeschleunigung. Die Erde ist ja bekanntlich abgeplattet. Am Pol befindet sich also ein Körper dem Erdmittelpunkt näher als am Äquator und aus diesem Grunde ist auch die Anziehungskraft größer als dort. Am Äquator kommt außerdem noch die Fliehkraft hinzu, die die Schwere der Körper vermindert erscheinen läßt.

Tatsächlich ist die Schwere am Pol ungefähr $\frac{1}{2}\%$ größer als am Äquator. Dasselbe Gewicht, das am Äquator eine Feder um 1 m spannen würde, würde sie am Pol um $\frac{1}{2}$ cm mehr spannen.

Insoweit man daher das Kilogrammgewicht als Krafteinheit benutzen will, wie das bei der technischen Maßordnung geschieht, muß man den Ort festsetzen, wo man es aufgestellt denkt. Man hat dafür die Lage unter 45° Breite in der Höhe des Meeresspiegels angenommen.

Die Tatsache, daß die Masse eines Körpers unveränderlich ist, während sein Gewicht mit der Lage auf der Erde sich verändert, ist maßgebend geworden für die Grundlage der physikalischen Maßordnung. Will man nämlich die Gleichung „Kraft gleich Masse mal Beschleunigung" ohne die Einführung einer Verhältniszahl festhalten, so ist man bei der Begriffsbestimmung der Krafteinheit an die Masseneinheit gebunden oder umgekehrt, und man muß diejenige Kraft gleich 1 nennen, die der Masse 1 die Beschleunigung 1 erteilt. Bei der physikalischen Maßordnung führt man daher die Masse eines Grammstückes als Masseneinheit ein und nennt dann die Kraft, die der Masse von 1 g die Beschleunigung 1 cm/sec² erteilt, 1 Dyn. Um sich von dieser Krafteinheit eine anschauliche Vorstellung zu machen, erinnere man sich daran, daß das Grammstück beim freien Fall eine Beschleunigung von 981 cm/sec² erhalten würde. Die Kraft, die aber das Grammstück dabei erfährt, nennt man das Grammgewicht. Da also das Grammgewicht der Masse von 1 g eine Beschleunigung erteilt, die 981 mal größer ist als die vom Dyn an der Gramm-Masse hervorgerufene Beschleunigung, so ist das Dyn 981 mal so klein wie das Grammgewicht, also ungefähr so groß wie ein Milligrammgewicht.

Die technische Einheit des Kilogrammgewichtes ist also gleich 981 000 Dyn, doch ist man neuerdings auch in der Technik immer mehr zu der physikalischen Maßordnung übergegangen. Es soll darüber später noch berichtet werden.

4. Die Zusammensetzung von Bewegungen. Das Parallelogramm der Kräfte.

Bevor man die Frage beantwortet, wie sich ein Körper unter dem Einfluß verschiedener zugleich vorhandenen Kräfte und Bewegungszustände bewegt, ist es zweckmäßig, die Zusammensetzung von Bewegungen unter einfachen Verhältnissen gedanklich zu verfolgen.

Man denke sich eine Kugel auf dem Deck eines Schiffes in Bewegung. Würde die Kugel ruhen und das Schiff sich allein in Bewegung setzen, so würde sie (siehe Abb. 7) etwa von A nach B kommen. Ruht aber das Schiff und bewegt sich die Kugel allein, so möge sie von A nach C kommen. Werden beide Bewegungen zu gleicher Zeit ausgeführt, so wird die Kugel die Lage D einnehmen, die man erhält, wenn man die Bewegung von A nach B und dann von B nach D parallel und gleich A C ausführt, d. h. die Kugel gelangt nach dem gegenüberliegenden Eckpunkt eines Parallelogramms, dessen Seiten die einzelnen Bewegungsanteile bilden. Sind die Bewegungen gerade in 1 Sekunde ausgeführt worden, so stellen die Strecken A B und A C die Geschwindigkeit des Schiffes und die Geschwindigkeit der Kugel auf dem Schiff dar. In Wirklichkeit bewegt sich also dann die Kugel so, als ob sie eine einzige Geschwindigkeit A D habe, die man durch Parallelogrammbildung oder geometrische Aneinanderfügung der beiden Geschwindigkeiten erhält. Der Physiker

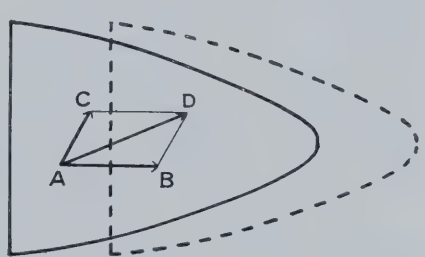


Abb. 7. Parallelogramm der Bewegungen.

nennt das eine Summe von Strecken oder „Vektoren" und A D die „geometrische Summe" der Strecken A B und B C.

Auch wenn das Schiff und die Kugel beide eine gleichförmig beschleunigte Bewegung ausführen würden, käme man zu einem ähnlichen Ergebnis. Die Kugel würde sich so bewegen, als ob sie eine einzige Beschleunigung b besäße, die man erhält, wenn man die Teilbeschleunigung b_1 und b_2 geometrisch zusammenfügt.

In beiden Fällen ist die wirkliche Bewegung eine geradlinige. Anders liegt die Sache, wenn die eine Bewegung eine gleichförmige ist, die andere aber eine gleichförmig beschleunigte.

Man könnte sich z. B. jetzt vorstellen, daß die Kugel auf dem Schiff durch eine Röhre herunterfällt, während das Schiff zu gleicher Zeit mit gleichbleibender Geschwindigkeit sich voranbewegt. Welches ist jetzt die wirkliche Bewegung der Kugel?

Um die Bahn der Kugel in diesem Falle zu finden, fügen wir die einzelnen Teilbewegungen wie früher zusammen nach Ablauf von 1, 2, 3 usf. Sekunden (siehe

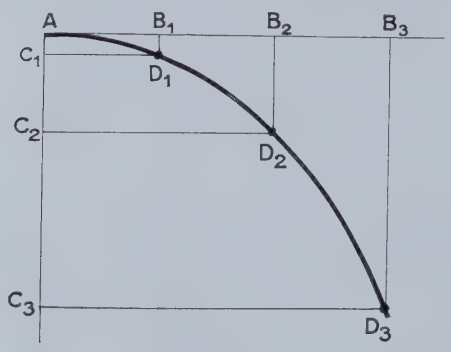


Abb. 8. Zusammensetzung einer gleichförmigen und einer gleichförmig beschleunigten Bewegung.

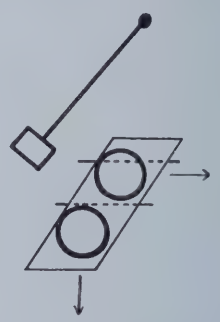


Abb. 9. Versuch zum Beweis der Unabhängigkeit der Fallbewegung von einer gleichzeitig vorhandenen waagrechten Geschwindigkeit.

Abb. 8). Nach 1 Sekunde würde die Kugel, falls sie nicht fiele, von A nach B_1 kommen, nach 2, 3 usf. Sekunden nach B_2, B_3 usf., wobei die Strecken A B_1, A B_2, A B_3 usw. sich wie die ganzen Zahlen verhalten. Stände aber das Schiff fest und die Kugel fiele herunter, so würde sie nach 1, 2, 3 Sekunden nach C_1, C_2, C_3 usf. kommen, wobei die Strecken A C_1, A C_2, A C_3 usf. sich jetzt wie die Quadrate der Zeiten verhalten. Für jeden Zeitpunkt hat man nun die Teilstrecken nach dem Parallelogramm zusammenzusetzen und findet so, daß die Kugel am Ende von 1, 2, 3 Sekunden nach D_1, D_2, D_3 gelangt. Verbindet man diese Punkte miteinander durch eine stetige Kurve, so entsteht, wie man leicht streng beweisen kann, eine Parabel.

Jetzt weiß man aber immer noch nicht, wie eine Bewegung in Wirklichkeit abläuft, die unter dem Einfluß zweier verschiedenen bewegungsbestimmenden Umstände steht, z. B. wenn eine Kugel in waagrechter Richtung mit einer gewissen Geschwindigkeit abgeworfen wird. Wäre die Schwere nicht da, so würde sich die Kugel mit gleichbleibender Geschwindigkeit geradeaus bewegen; wäre die Schwere allein da, so würde sie mit gleichförmiger Beschleunigung zur Erde fallen. Es entsteht die Frage: Ist die Fallbewegung unabhängig von der gleichzeitig erfolgenden waagrechten Vorwärtsbewegung? Von vornherein (a priori) kann man das nicht

sagen. Da kann nur der Versuch entscheiden. Dazu genügt eine einfache Vorrichtung, bei der man zwei Kugeln (s. Abb. 9), etwa zwei Billardkugeln, auf steife Pappe legt, die durch zwei Stifte unterstützt ist, jedoch so, daß nur die eine Kugel zwischen den beiden Stiften, die andere aber auf derselben Seite der beiden Stifte liegt. Erteilt man jetzt der beiderseits unterstützten Kugel durch einen geschwungenen Hammer eine gewisse Geschwindigkeit, so wird auch die andere Kugel das Gleichgewicht verlieren und senkrecht zu Boden fallen. Der Zusammenklang der beiden Aufschlagsgeräusche läßt erkennen, daß beide Kugeln zu gleicher Zeit am Boden anlangen, gleichgültig, welche waagrechte Geschwindigkeit man der einen Kugel erteilt.

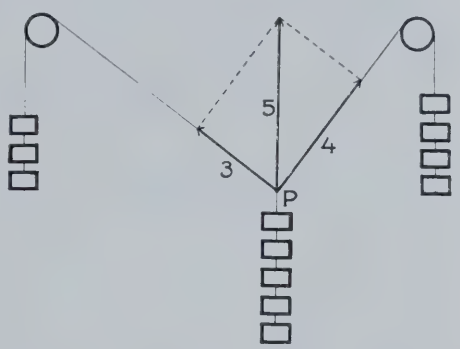


Abb. 10. Parallelogramm der Kräfte.

Der Versuch lehrt also, daß die beiden bewegungsbestimmenden Umstände unabhängig voneinander wirken. Statt einer Kugel kann man auch einen Wassertropfen zu Boden fallen lassen; man kann ihm auch eine waagrechte Geschwindigkeit erteilen, indem man ihn aus einer Wasserleitung unter Druck herauspreßt. Läßt man verschiedene Wassertropfen in einem Strahl aufeinanderfolgen, so werden sie, von der Seite her betrachtet, die Bahn darstellen, die jeder einzelne der Tropfen beschreibt. Man erkennt dann, daß diese Bahn gerade eine solche Parabel ist, wie sie vorher durch Überlegung gefunden wurde.

Ähnliche Erfahrungen kann man allgemein machen: Wirken verschiedene bewegungsbestimmende Umstände oder verschiedene Kräfte zugleich auf einen Körper, so wirken sie unabhängig voneinander, d. h. die Bewegung des Körpers setzt sich in jedem Augenblick geometrisch aus den einzelnen Bewegungsanteilen zusammen.

Bei dem einfachen Fall, daß etwa zwei verschiedene Kräfte in verschiedener Richtung zugleich auf einen Körper wirken, bewegt sich der Körper in einem kleinen Zeitteil so, als ob er erst der einen, dann der anderen Kraft folgte. Da sich nun die Beschleunigungen nach dem Parallelogramm zusammensetzen, so müssen sich auch die Kräfte nach dem Parallelogramm zusammensetzen, werden sie doch als Vielfaches immer derselben Masse und der Beschleunigungen gefunden. Das ist der Satz vom Parallelogramm der Kräfte.

Diesen Satz kann man am einfachsten prüfen, wenn man eine dritte Kraft hinzunimmt, die der geometrischen Summe der beiden wirkenden Kräfte entgegengesetzt gleich ist. Dann muß Gleichgewicht eintreten.

Durch den Versuch läßt sich das am einfachsten mit der folgenden Anordnung beweisen (s. Abb. 10). Auf den Punkt P wirken die Kräfte zweier Fäden, die durch die Gewichte 3 und 4 gespannt werden. Hängt man dann am Punkt P ein Gewicht 5 an, so tritt Gleichgewicht ein.

In Wirklichkeit greifen also in P drei Kräfte an und wir haben es mit einem Gleichgewicht von drei Kräften zu tun. Diese müssen dann ein geschlossenes Dreieck

bilden (s. Abb. 11). Daß das so sein muß, erkennt man auch unmittelbar aus dem Satz der Unabhängigkeit der Kräftewirkungen. Denn in einem kleinen Zeitteilchen würde der Punkt der Reihe nach drei Wege zurücklegen, die im Verhältnis zu den Kräften stehen, und der Punkt muß dabei in seine Ausgangslage zurückkommen, wenn er in Ruhe beharren soll. So erkennt man ganz allgemein, daß beliebig viele Kräfte miteinander im Gleichgewicht stehen, wenn sie aneinandergefügt einen geschlossenen Linienzug ergeben.

Ebenso wie man verschiedene Teilkräfte (Komponenten) zu einer Gesamtkraft (Resultante) zusammensetzen kann, vermag man auch eine vorhandene Kraft als aus Teilkräften bestehend aufzufassen. Diese Kräftezerlegung ist dann wichtig, wenn ein Körper sich nicht frei bewegen kann, sondern an einen anderen Körper gebunden ist.

Denken wir uns zunächst eine Kugel auf eine ebene Tischplatte aufgelegt, so wird sie dort in Ruhe verharren. Das ist nur dadurch möglich, daß die Tischplatte auf die Kugel mit derselben Kraft k_2 zurückwirkt, mit der k_1 die Kugel auf den

Abb. 11. Geschlossenes Kräftedreieck beim Gleichgewicht an einem Punkte.

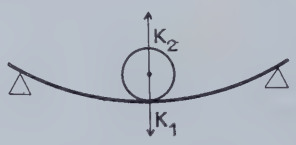


Abb. 12. Gleichgewicht einer Kugel auf Unterlage.

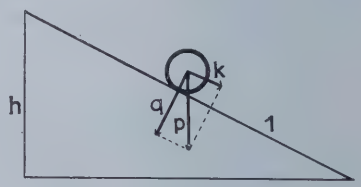


Abb. 13. Kräftezerlegung bei der schiefen Ebene.

Tisch drückt. Es ist also $k_2 = k_1$. Bestünde die Unterlage aus einem dünnen Brettchen, so würde man dies ohne weiteres daran erkennen, daß sich das Brettchen etwas durchbiegt (s. Abb. 12). Dadurch wird in dem Brettchen eine elastische Kraft k_2 geweckt, die die Kugel für sich nach oben treiben würde; das findet aber auch bei einer dicken Platte statt, nur daß man dann die Durchbiegung nicht so leicht erkennen kann.

Eine Platte, auf die ein Körper drückt, wirkt also mit einer Kraft zurück, die senkrecht auf dieser Platte steht. Das gilt auch dann, wenn die Platte geneigt ist, wenn sich also die Kugel auf einer schiefen Ebene befindet. In diesem Fall kann man die lotrecht nach unten gerichtete Kraft, die durch das Gewicht der Kugel gegeben ist, zerlegen in einen Kräfteanteil senkrecht zur Ebene und einen damit gleichlaufenden (s. Abb. 13). Der Druck der Kugel gegen die schiefe Ebene wird dann durch eine rückwirkende Kraft aufgehoben und es bleibt nur noch die mit der Ebene gleichlaufende Kraft übrig. Man erkennt jetzt aus dem Bild ohne weiteres, daß diese übrigbleibende Kraft k sich zu dem Gewicht p verhält, wie die Höhe der schiefen Ebene h zu ihrer Länge l, d. h. es ist auch $p \cdot h = k \cdot l$.

Hier tritt zum erstenmal das Vielfache (Produkt) auf, das aus einer Kraft und einem Weg gebildet wird. Geht man der Bedeutung dieses Vielfachen nach, so kommt man zu außerordentlich wichtigen Ergebnissen, die den Inhalt des folgenden Abschnitts bilden sollen.

5. Die Energie (Macht) und das Gesetz der Erhaltung der Energie.

Wenn der Maurer einen Stein ein Stockwerk hochgehoben hat, so sagt man, er habe eine gewisse Arbeit geleistet und wenn er zwei Steine derselben Art ein Stockwerk, oder den einen Stein zwei Stockwerke hochgehoben hat, so sagt man, er habe die doppelte Arbeit verrichtet. Daraus leitet die Physik den physikalischen Begriff der Arbeit ab und versteht darunter das Vielfache des Gewichtes und der Hubhöhe, oder allgemeiner, da das Gewicht eine Kraft darstellt, das Vielfache der Kraft und des Weges, dem entlang die Kraft überwunden wurde.

Denken wir uns nun über eine leichtbewegliche Rolle ein Seil gelegt und an beiden Enden gleiche Gewichte angehängt, so bedarf es nur eines kleinen Anstoßes, und das nach unten gehende Gewicht wird das nach oben gehende Gewicht hinaufziehen. Man kann also sagen, daß das eine Gewicht Arbeit abgegeben hat und das andere die gleiche Arbeit empfangen.

Ein gehobenes Gewicht stellt also einen Vorrat an Arbeit dar, den man als Energie bezeichnet, worunter man die Fähigkeit der Arbeitsleistung versteht. Man spricht dann von Energie der Lage oder potentieller Energie. Nun heißt „potens" auf Deutsch nichts anderes als „mächtig", so daß Energie soviel wie Macht bedeutet, gemessen an der Arbeit, die man damit bewältigen kann. Energie bedeutet somit das Vermögen, Arbeit zu leisten, oder kurz Arbeitsvermögen.

Was geschieht aber, wenn man den Körper von einer Höhe lotrecht hinunterfallen läßt. Geht jetzt der Energievorrat verloren? Da muß man bedenken, daß zwar die Hubhöhe verloren geht, dafür aber der Körper eine Geschwindigkeit eintauscht, und diese Geschwindigkeit, nach oben gerichtet, würde ihn wieder in die Höhe hinaufsteigen lassen, und zwar, wie eine einfache Rechnung ergibt, genau wieder zur alten Höhe.

Zufolge des Umstandes, daß eine Masse m die Geschwindigkeit v besitzt, kommt ihr daher ein bestimmtes Arbeitsvermögen zu, das die Größe: $^1/_2\, m\, v^2$ besitzt. Von der Richtigkeit dieser Formel kann man sich leicht überzeugen, wenn man annimmt, daß die Geschwindigkeit v bei gleichförmiger Beschleunigung in einer Sekunde erreicht worden sei. Dann stellt v zugleich die Beschleunigung selbst dar und m v die Kraft, die sie hervorbrachte. Der dabei zurückgelegte Weg ist v/2 und die aufgewandte Arbeit (Kraft mal Weg) $m\, v \cdot v/2 = {}^1/_2\, m\, v^2$. Das ist zugleich der Arbeitsvorrat der bewegten Masse. Der Arbeitsvorrat wird also durch das halbe Vielfache der Masse und des Geschwindigkeitsquadrats ausgedrückt. Diese Größe nennt man daher die Energie der Bewegung, oder kinetische Energie, gelegentlich auch „lebendige Kraft", oder Wucht.

Im folgenden soll diese Energie immer als Bewegungsenergie bezeichnet werden, damit die Bezeichnung Kraft nicht zu Verwechslungen Anlaß gebe. Es stellt sich also heraus, daß die Energie, die einem Körper durch gehobene Lage eigen war, durch das Fallen nicht verloren geht, und das gilt für jeden Augenblick. In demselben Maße, wie die Energie der Lage abnimmt, nimmt die Energie der Bewegung zu; die Summe von beiden bleibt immer dieselbe, und wir haben damit einen besonderen Fall des Gesetzes der Erhaltung der Energie.

Dieses Gesetz läßt sich nun erweitern auf alle Bewegungsvorgänge, bei denen keine Kräfte wie die Reibungskräfte auftreten, bei denen also nur erhaltende Kräfte oder konservative Kräfte zur Geltung kommen.

Um diesen Satz allgemein beweisen zu können, braucht man freilich noch einen Satz, der von Newton aufgestellt worden ist. Es ist das der dritte Newtonsche Bewegungssatz: Kraft und Gegenkraft sind stets einander gleich, d. h. die Kräfte treten stets paarweise in entgegengesetzt gleicher Größe auf. Wenn ein Körper A auf einen Körper B eine Kraft in deren Verbindungslinie ausübt, so übt auch der Körper B eine Kraft auf A aus in derselben Verbindungslinie, jedoch in entgegengesetzter Richtung und von gleicher Größe wie jene.

Nimmt man ein von außen nicht beeinflußtes Gebilde von beliebig vielen Massenpunkten an, von denen je zwei aufeinander einwirken mit solchen entgegengesetzt gleichen in der Verbindungslinie liegenden Kräften, deren Größe nur von der Entfernung der Körper voneinander abhängt, und nimmt man ferner die Gültigkeit des Grundgesetzes der Mechanik „Kraft gleich Masse mal Beschleunigung" und ferner das Gesetz der Unabhängigkeit der Kräftewirkungen an, dann kann man den von Helmholtz in seiner berühmten Abhandlung „Über die Erhaltung der Kraft" (d. h. Energie) aufgestellten Satz beweisen, daß in einem solchen Gebilde die Energie stets erhalten bleibt und sich zusammensetzt aus der Summe der Energie der Bewegung und der wechselseitigen Energie der Lage. Würde aber das Gebilde einer Kräftewirkung von außen ausgesetzt sein, so würde eine Zunahme der Energie des Gebildes eintreten können, die gleichkommt der Arbeit, die von außen daran geleistet worden ist.

Das einfachste Beispiel zu diesem Satz ist ein solches, wobei nur zwei Körper in Frage kommen, z. B. ein der Erde gegenüber stehendes Pendel, das aus seiner Ruhelage entfernt werde. Läßt man es los, so wird es der Gleichgewichtslage zustreben und sie mit einer gewissen Geschwindigkeit erreichen. Vermöge dieser Geschwindigkeit wird es aber auf der anderen Seite zu derselben Höhe hinaufsteigen, von der es vorher herabgefallen war, und so würde also das Pendel ewig hin- und herschwingen. Freilich wissen wir, daß es in Wirklichkeit nach einiger Zeit zur Ruhe kommt, aber das rührt daher, daß selbst beim Pendel die Reibung am Aufhängepunkt und gegen die Luft nicht vollkommen vermieden werden kann.

Nehmen wir also einen anderen Fall, wo keine Reibung vorliegt, z. B. bei der Erde, die sich um die Sonne herumbewegt und die im freien Weltenraum keine Bewegungswiderstände findet. Es ist bekannt, daß die Entfernung der Erde von der Sonne mit der Zeit wechselt. Im Winter befindet sich die Erde in Sonnennähe (Perihel), im Sommer in Sonnenweite (Aphel). Geht sie aber von Sonnennähe auf Sonnenferne, so muß sie Arbeit leisten gegen die Anziehungskraft der Sonne. Infolgedessen vermindert sie ihre Geschwindigkeit, und zwar gerade in solchem Betrage, daß die Summe ihrer Bewegungsenergie und ihrer Lageenergie dieselbe bleibt. Kommt sie in ihrem weiteren Verlauf wieder in Sonnennähe, so wird sie wieder Energie der Lage verlieren und Energie der Bewegung gewinnen und schließlich wieder dieselbe Geschwindigkeit erreichen, die sie ursprünglich hatte. Und ein ähnliches könnte man vom ganzen Sonnensystem, d. h. der Sonne mit ihrer Planetenfamilie aussagen.

Wo aber Reibung im Spiele ist, werden die bisher betrachteten Energieformen allmählich abnehmen und schließlich ganz verschwinden. Das geschieht z. B. beim freien Fall, selbst wenn der fallende Körper eine elastische Kugel wäre. Sie wird zwar abspringen, wieder in die Höhe steigen, wieder herabfallen usf., aber endlich doch zu Ruhe kommen. Dann ist sowohl die Energie der Lage als auch die der Bewegung verschwunden. Wo kommt jetzt die Energie hin? Diese Frage wird uns später noch genauer beschäftigen. Es wird sich herausstellen, daß die Kugel beim Zusammenstoß mit dem Boden sowohl diesen als auch sich selbst erwärmt, und diese Wärme stellt auch eine Form von Energie dar, die man in Rechnung ziehen muß.

6. Allgemeine Kraftlehre (Mechanik).

Es soll jetzt sofort das Energiegesetz dazu benutzt werden, um die allgemeinen Bedingungen des Gleichgewichts abzuleiten.

Gehen wir von einem einfachen Beispiel aus. Auf einer drehbaren Achse seien zwei Räder fest miteinander verbunden, deren Halbmesser sich wie 1:2 verhalten (Abb. 14). An beiden Rädern seien an Schnüren Gewichte angebracht, die das Rad im entgegengesetzten Sinn zu drehen suchen. Wie groß müssen die Gewichte sein, damit das Gebilde im Gleichgewicht verharrt?

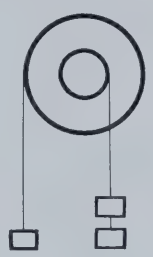


Abb. 14. Grundsatz der möglichen Arbeiten.

Die Antwort lautet: Die angehängten Gewichte müssen im umgekehrten Verhältnis der Halbmesser stehen. An dem Rad mit dem Halbmesser 1 muß ein Gewicht 2 hängen, wenn am Rad mit dem Halbmesser 2 das Gewicht 1 angebracht ist. Angenommen, das Rad sei in einem gegebenen Augenblick in Ruhe, was würde folgen, wenn es sich von selbst in Bewegung setzte? Bei einer Drehung würde das Gewicht 1, weil am Rad mit dem Halbmesser 2 befestigt, sich doppelt soviel — z. B. nach unten — bewegen, wie das andere nach oben. Die Arbeit, die das fallende Gewicht leistet, wäre also 2:1; dafür empfängt das gehobene Gewicht bei der Drehung die Arbeit 1·2, d. h. dieselbe Arbeit. In Wirklichkeit ist also bei der Drehung keine Arbeit geleistet worden; folglich darf auch keine Bewegung entstehen, weil sonst Bewegungsenergie aus nichts gewonnen worden wäre. Dies ist aber nach dem Satz von der Erhaltung der Energie unmöglich. Das Gebilde muß also im Gleichgewicht verharren; und diese Betrachtung gilt allgemein. Der dabei verwandte Grundsatz ist unter dem Namen: „Prinzip der virtuellen (möglichen) Verschiebungen" bekannt.

Dieser Grundsatz kann so ausgesprochen werden: Ein Gebilde ist im Gleichgewicht, wenn bei einer möglichen Bewegung im ganzen keine Arbeit geleistet wird.

Damit gewinnt man ohne weiteres den berühmten Hebelsatz des Archimedes: Ein zweiarmiger Hebel ist dann im Gleichgewicht, wenn das Vielfache aus Kraft und Hebelarm auf beiden Seiten gleich groß ist.

Denn wie vorher wird bei einer möglichen Drehung des Hebels das Gewicht am längeren Hebelarm, z. B. dem doppelten Hebelarm den doppelten Weg zurück-

legen. Damit also die Arbeiten auf beiden Seiten die gleichen seien, muß die dort angebrachte Kraft halb so groß sein wie die auf der anderen Seite angebrachte (Abb. 15). Dieses Vielfache von Kraft und Hebelarm ist in der Mechanik bekannt unter dem Namen des Drehmomentes. Man könnte es auch als Drehvermögen bezeichnen und wir kommen zu dem Satz: Der Hebel ist im Gleichgewicht, wenn die Drehmomente oder Drehvermögen auf beiden Seiten gleich groß sind.

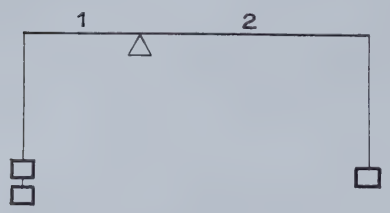


Abb. 15. Gleichgewicht am Hebel.

Es tritt nun die Frage auf, wie das Drehmoment zu berechnen sei, wenn die angreifende Kraft schief zum Hebelarm steht (Abb. 16). In diesem Falle zerlegt man die Kraft k in zwei Anteile, einen senkrecht zum Hebelarm, den anderen in Richtung des Hebelarmes. Die letztere Kraft wird den Hebel nicht in Bewegung setzen können, da er am Drehpunkt festgehalten wird. Es kommt also nur die zum Hebelarm senkrechte Teilkraft in Betracht. Ist der Winkel zwischen der ursprünglichen Kraft und dieser Teilkraft α, so ist die Teilkraft gleich $k \cdot \cos \alpha$. Das Drehmoment ist also $k \cdot 1 \cdot \cos \alpha$. Nun ist aber $1 \cdot \cos \alpha$ der Abstand der durch k gelegten Geraden von dem Drehpunkt. Folglich kann man auch sagen, daß das Drehmoment gleich ist der Kraft vervielfacht mit ihrem Abstand vom Drehpunkt. Diesen Abstand kann man auch als wirksamen Hebelarm bezeichnen, so daß im allgemeinen das Drehmoment ist: Kraft mal wirksamer Hebelarm.

Es ist jetzt möglich, die Frage zu beantworten, welchen Punkt eines Körpers man unterstützen muß, damit er im Gleichgewicht bleibe, einen Punkt, den man als seinen Schwerpunkt bezeichnet.

Greift man den einfachen Fall heraus, daß der Körper aus zwei Massen 1 und 2 bestehe, die durch einen starren Stab miteinander verbunden seien, dessen Gewicht vernachlässigt werden könne, so muß man nach dem Vorhergehenden den Unterstützungspunkt in $^1/_3$ des Abstandes der beiden Massen, von der größeren Masse an gerechnet, anbringen. Denn dann treten zwei Hebelarme auf im Verhältnis 1:2, an denen die Kräfte im Verhältnis 2:1 angreifen, und diese Beziehung gilt unabhängig von der Lage des Stabes (Abb. 17).

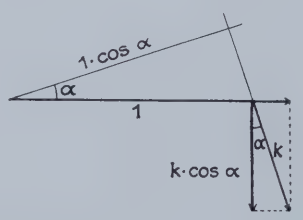


Abb. 16. Drehvermögen (Drehmoment) bei schiefer Lage der Kraft gegen den Hebelarm.

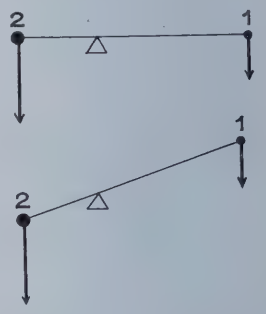


Abb. 17. Schwerpunkt.

Der Schwerpunkt ist also derjenige Punkt, dessen Unterstützung den Körper im Gleichgewicht läßt, unabhängig von der Lage des Körpers.

Mit welcher Kraft drückt nun der Körper im Schwerpunkt auf die Unterlage?

Offenbar mit der Summe der Kräfte oder Gewichte, die an den einzelnen Punkten angreifen, also im vorliegenden Fall mit drei Gewichtseinheiten. Man

bringe im Schwerpunkt einen Faden an, der über eine Rolle läuft und am anderen Ende das Gewicht 3 trage (Abb. 18). Dann ist das ganze Gebilde im Gleichgewicht. Denn bei einer Verschiebung wird der Weg auf beiden Seiten der gleiche sein, folglich muß die Kräftesumme auch auf beiden Seiten die gleiche sein. Man kann also auch den Schwerpunkt als den Mittelpunkt aller Kräfte bezeichnen, die am Körper angreifen; an ihm greift die „Mittelkraft" an.

Es ist von Wichtigkeit, sich die Art des Gleichsgewichts klar zu machen, je nachdem der Unterstützungspunkt über, in oder unter dem Schwerpunkt liegt.

Liegt der Unterstützungspunkt U nämlich über dem Schwerpunkt S (Abb. 19), so wird bei einer kleinen Verdrehung des Körpers ein Drehvermögen auftreten, das den Körper in seine Ausgangslage zurückzudrehen sucht. Man nennt deshalb dieses Gleichgewicht ein festes oder stabiles.

Liegt dagegen der Unterstützungspunkt unter dem Schwerpunkt S (Abb. 20), so wird die geringste Verschiebung bewirken, daß der Körper eine neue Gleichgewichts-

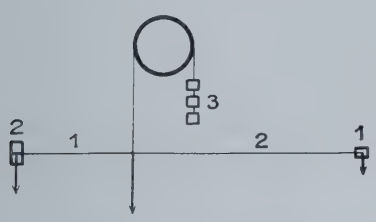


Abb. 18. Mittelkraft im Schwerpunkt.

Abb. 19. Festes oder stabiles Gleichgewicht.

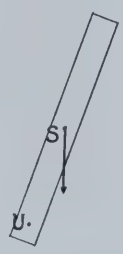


Abb. 20. Schwankendes oder labiles Gleichgewicht.

lage aufsucht, bis der Schwerpunkt unter den Unterstützungspunkt zu liegen kommt. Ein solches Gleichgewicht nennt man ein schwankendes oder labiles.

Liegt endlich der Unterstützungspunkt im Schwerpunkt, so ist der Körper bei jeder Lage im Gleichgewicht. Man nennt es jetzt ein unbestimmtes oder indifferentes.

Auch bei der Bewegung spielt der Schwerpunkt eines Körpers eine wichtige Rolle. Es gilt nämlich der einfache Satz:

Wenn ein starrer Körper oder ein aus verschiedenen Körpern bestehendes Gebilde Kräften ausgesetzt ist, so bewegt sich der Schwerpunkt des Ganzen so, als ob alle Kräfte an ihm allein angriffen und die gesamte Masse in ihm vereinigt wäre.

Ein Satz, der hier nicht bewiesen, sondern nur angeführt werden soll. Statt dessen nehmen wir ein einfaches Beispiel. Eine Person will von einem hochliegenden Ufer auf den Vorsprung eines gegenüberliegenden tieferen Bachufers hinüberspringen. Hat sie nicht von vornherein die richtige Absprungrichtung und -geschwindigkeit gefunden, so wird alle Verdrehung des Körpers während des Sprunges ihr es nicht ermöglichen, am anderen Ufer anzukommen, denn ihr Schwerpunkt wird eine Wurfparabel beschreiben, die nach dem Absprung festliegt und nicht mehr verändert werden kann. Höchstens könnte es der Person gelingen, mit einem Teil des Körpers das Ufer noch zu erreichen oder zu berühren. Anders liegt die Sache, wenn der Körper, wie beim Flugkörper, so ausgedehnt

ist und solche Geschwindigkeit besitzt, daß der Luftwiderstand merklich in Betracht kommt.

Auf das Sonnensystem angewandt, bedeutet das, daß sein Schwerpunkt mit gleichbleibender Geschwindigkeit durch das Weltall zieht, vorausgesetzt, daß keine merklichen Kräfte von entfernteren Sternen auf unser Sonnensystem einwirken. Im anderen Fall wird natürlich der Schwerpunkt eine gekrümmte Bahn beschreiben. Bei der großen Masse der Sonne liegt der Schwerpunkt des ganzen Sonnensystems nicht weit vom Mittelpunkt der Sonne.

Wirkt keine äußere Kraft auf einen Körper ein und ist sein Schwerpunkt ursprünglich in Ruhe, so wird er auch in Ruhe bleiben. Zwar können innere Kräfte seine Teile gegeneinander verschieben, aber doch nur so, daß der Schwerpunkt des Ganzen unverändert bleibt.

Liegen z. B. an den Enden einer zusammengedrückten Feder (Abb. 21) zwei Massen, m_1 und m_2, und läßt man die Feder plötzlich los, ohne ihr im ganzen eine Geschwindigkeit zu erteilen, so werden durch Federkraft die Massen in entgegengesetzter Richtung nach außen geschleudert, aber mit solchen Geschwindigkeiten v_1 und v_2, daß das Vielfache der Massen und Geschwindigkeiten sich gleichbleibt: $m_1 v_1 = m_2 v_2$. Dies ist die Bedingung für die Erhaltung des Schwerpunktes.

Abb. 21. Erhaltung des Schwerpunktes und des Triebes (Impuls).

Man kann das Ergebnis noch anders ausdrücken. Das Vielfache aus Masse und Geschwindigkeit nennt man nämlich auch den Impuls (Trieb) oder Bewegungsgröße. Dann folgt aus dem Schwerpunktsatz, daß der Gesamtimpuls eines Körpers erhalten, im vorliegenden Fall also Null bleibt, indem die beiden Triebe mit entgegengesetztem Vorzeichen behaftet zu denken sind.

Diesen Begriff kann man auch zu einer anderen Formung des Grundgesetzes der Kraftlehre benutzen. Da nämlich bei gleichförmiger Beschleunigung die Beschleunigung durch das Verhältnis v/t ausgedrückt ist, so wird die Kraft, die der Körper erfährt, $m\,v/t$. Diese Kraft ist nichts anderes als der Zuwachs des Triebes in der Zeiteinheit. Dieser Zuwachs ist also der einwirkenden Kraft gleich, und der Satz in dieser Form hat sogar noch allgemeinere Bedeutung als der Satz: Kraft gleich Masse mal Beschleunigung.

Eine wichtige Anwendung erfährt der Impulssatz bei den Massenverlagerungen, die auf der Erde durch innere Kräfte hervorgerufen werden. Auch ihr Gesamtimpuls muß im Verhältnis zur Erde gleich Null bleiben. Werden also Massen unter dem Einfluß vulkanischer Kräfte mit einer gewissen Geschwindigkeit nach Norden verschoben, so müssen andere Massen mit entsprechender Geschwindigkeit nach Süden verschoben werden.

Die Erddrehung spielt dabei nur eine geringe Rolle, da solche Vorgänge nur mit geringen Geschwindigkeiten zu erfolgen pflegen. Will man aber die Erddrehung berücksichtigen, so muß man auf einen Satz zurückgreifen, der sich auf Drehbewegungen bezieht und der eine besondere Anwendung des Impulssatzes darstellt. Darauf wird im folgenden alsbald einzugehen Gelegenheit sein.

Noch ein anderer Satz der Kraftlehre ist von weittragender Bedeutung. Man

kann seinen Inhalt am besten verstehen, wenn man die Bewegung eines Körpers auf der schiefen Ebene betrachtet. Man würde offenbar den Körper zur Ruhe bringen, wenn man in Abb. 22 eine nach aufwärts gerichtete Kraft k′ der schiefen Ebene entlang anbringt. Wir wollen sie die Trägheitskraft nennen. Sie wird den längs der schiefen Ebene wirkenden Anteil k des Gewichtes p gerade aufheben.

Da nun die Kraft gleich Masse mal Beschleunigung ist, so braucht man im allgemeinen nur eine der Beschleunigung entgegengerichtete Kraft im Betrage von m·b anzubringen, um den Körper ins Gleichgewicht zu setzen.

Die Bedeutung dieses Satzes, der unter dem Namen des d'Alembertschen Prinzips oder Grundsatzes bekannt ist, besteht darin, daß er eine Bewegungsaufgabe auf eine Gleichgewichtsaufgabe zurückzuführen gestattet, sowie darin, daß er unbekannte Rückwirkungskräfte zu bestimmen erlaubt. Setzt man nämlich im vorliegenden Fall die bekannten Kräfte k′ und p (Abb. 22) zusammen, so erhält man q und damit die q entgegengesetzt gleiche Kraft q′, die die Rückwirkung der schiefen Ebene darstellt und mit k′ und p zusammengenommen den Körper ins Gleichgewicht setzt.

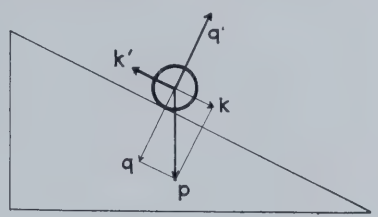


Abb. 22. d'Alemberts Satz.

Während nun dieses Beispiel nur eine neue Auffassung der schon in Abb. 13 angegebenen Kräftebeziehungen bringt, gewährt uns das folgende eine neue Einsicht. Man denke sich eine Person auf dem Fahrstuhl mit der Beschleunigung b nach oben anfahren. Dann hat man nach d'Alemberts Prinzip die Trägheitskraft m b (Abb. 23) nach unten anzutragen an das Gewicht m g der Person. Der Summe dieser Kräfte m (g + b) muß dann die Rückwirkung des Fahrstuhls gleichkommen. D. h. der Druck der anfahrenden Person auf den Boden des Fahrstuhls hat sich um m b vermehrt. Jeder, der einmal mit dem Fahrstuhl gefahren ist, kennt diese Empfindung beim Anfahren nach oben, während sich umgekehrt beim Anfahren nach unten die Empfindung des Nachlassens des Druckes einstellt. Sobald indes die Geschwindigkeit des Fahrstuhls gleichförmig geworden ist, wird nur derselbe Druck empfunden, als ob der Fahrstuhl stillstände.

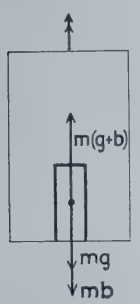


Abb. 23. Fahrstuhl in Beschleunigung nach oben.

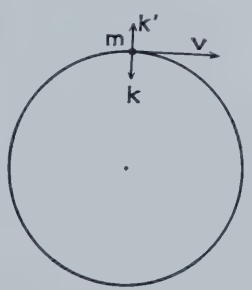


Abb. 24. Fliehkraft.

Das Beispiel mit dem Fahrstuhl ist durch Einstein berühmt geworden. Es wird darauf bei der Besprechung der allgemeinen Relativitätstheorie zurückgekommen.

d'Alemberts Satz spielt auch eine wichtige Rolle in dem Fall, daß ein Körper durch eine Kraft beeinflußt, sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit um einen Mittelpunkt herumbewegt, sei es, daß er durch einen Faden festgehalten wird oder durch die Schwerkraft, wie das beim Umlauf der Planeten um die Sonne zutrifft.

Stellt man sich die Frage (s. Abb. 24), mit welcher Kraft man einen Körper

senkrecht zu seiner Geschwindigkeit antreiben muß, damit er gerade auf dem Kreis verbleibe, so findet man die Beziehung: Die nach dem Mittelpunkt wirkende Zentripetalkraft oder kurz Zentralkraft k muß sein gleich Masse m mal Geschwindigkeitsquadrat v^2 durch Halbmesser r des Kreises oder $k = m\,v^2/r$.

Wird eine Kugel etwa an einem Faden im Kreise herumgeschleudert, so würde man also nach dem d'Alembertschen Satz Gleichgewicht erhalten zwischen der nach außen gerichteten Trägheitskraft und der nach innen gerichteten Spannkraft des Fadens. Man nennt daher diese Trägheitskraft auch Fliehkraft oder Zentrifugalkraft. Diese Fliehkraft ist der Mittelpunktskraft oder Zentripetalkraft entgegengesetzt gleich.

Die wichtigste Anwendung hat die Zentralkraft gefunden bei Newtons Entdeckung der allgemeinen Schwere oder Gravitation. Newton knüpfte an die drei Keplerschen Sätze an, die dieser auf Grund genauer Beobachtungen der Planetenbahnen durch Tycho Brahe gefunden hatte. Diese drei Sätze lauten:

1. Die Planeten bewegen sich auf Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.
2. Der Fahrstrahl, den man von der Sonne nach dem Planeten zieht, beschreibt in gleichen Zeiten gleiche Flächen.
3. Die Quadrate der Umlaufszeiten zweier Planeten verhalten sich wie die Kuben ihrer mittleren Abstände von der Sonne.

Aus dem zweiten Satz konnte Newton die Folgerung ziehen, daß nur dann jene Flächengleichheit besteht, wenn der Planet einer Kräftewirkung ausgesetzt ist, die in jedem Augenblicke genau nach der Sonne hin gerichtet ist.

Aus dem dritten und ersten Satz folgte dann weiter, daß die Kraft, die ein Planet nach der Sonne hin erfährt, im umgekehrten Verhältnis steht zum Quadrate seines Abstandes von ihr.

Aus dem Grundsatz der Gleichheit von Kraft und Gegenkraft folgt endlich, daß die Kraft, die die Sonne auf einen Planeten ausübt, ebenso groß sein muß wie die Kraft, die der Planet auf die Sonne ausübt. Da aber die Kraft gleich dem Vielfachen von Masse und Beschleunigung ist, muß diese gegenseitige Kraft sowohl der Masse der Sonne als der Masse der Planeten verhältig sein. Auf diese Weise gelangt Newton zu dem allgemeinen Schwere- oder Gravitationsgesetz:

$$k = \frac{f \cdot M \cdot m}{r^2},$$

worin k die wechselseitige Kraft, M und m die Masse der Sonne und des Planeten, r den Abstand zwischen beiden bedeutet; f ist die „Gravitationskonstante" oder Schwerezahl.

Vielleicht ist es schwer verständlich, wie der kleine Planet auf die Sonne dieselbe Kraft ausüben soll wie die viel größere Sonne auf den Planeten. Man beachte aber wohl, daß man ja nicht die Kraft, sondern die Beschleunigung unmittelbar beobachtet. Um diese zu finden, muß man jeweils mit der Masse des betreffenden Körpers noch teilen. Da aber die Masse der Sonne vielemal größer ist als die Masse des Planeten, so ist die ihr erteilte Beschleunigung ebenso vielmal kleiner als die des Planeten.

Hier tritt die wichtige Frage auf, wie man die Schwerezahl oder Gravitationskonstante bestimmen kann. Man braucht zu diesem Zwecke nur nach Jolly unter die eine Seite einer Waage, die auf beiden Seiten zwei gleich große Gewichte trägt, eine große Masse, z. B. eine Bleikugel zu bringen und den dadurch bewirkten Ausschlag der Waage durch ein kleines Übergewicht auszugleichen, das man auf der andern Seite anbringt. Da die Massen der Bleikugel und des auf der Waage befindlichen Körpers sowie der Abstand dieser beiden Körper voneinander bekannt sind und man die Anziehungskraft zwischen beiden Körpern durch jenes Übergewicht mißt, so kann man daraus die Schwerezahl oder Gravitationskonstante berechnen. Sie hat die außerordentlich kleine Größe $6{,}68 \cdot 10^{-8}$ Dyn (s. Abschnitt 3), d. h. wenn man zwei Massen von 1 g im Abstand von 1 cm einander gegenüberbringt, so üben die beiden Massen nur eine Kraft aufeinander aus, die rund 0,07 von dem millionsten Teil eines Milligrammgewichts beträgt.

Aus dieser Zahl f kann man auch die Masse der Erde berechnen. Denn da das Gewicht p einer Masse m, z. B. eines Grammstückes, und der Erdhalbmesser r bekannt sind, so läßt sich nach der Gleichung $p = m\,g = f \cdot M \cdot m/r^2$ die Masse der Erde M berechnen. Es ergibt sich daraus, daß die Masse der Erde rund $6 \cdot 10^{24}$ kg beträgt, d. h. 6 Quadrillionen Kilogrammassen. Die mittlere Dichte der Erde ergibt sich daraus zu etwa 5,5. Da nun die Gesteine an der Erdoberfläche eine mittlere Dichte von etwa 2,3 besitzen, so folgt daraus, daß das Erdinnere Stoffe von sehr hoher Dichte besitzen muß, und man hat Grund zu der Annahme, daß es hauptsächlich aus Eisen bestehe.

Das Gesetz der Fliehkraft kann man noch auf weitere wichtige Vorgänge anwenden. Denken wir uns ein Pendel, bestehend aus einem dünnen Faden, an dem eine Kugel befestigt ist. Die Aufhängung gestatte eine freie Bewegung nach allen Seiten, so daß es möglich sei, die Kugel so anzustoßen, daß sie sich in einem Kreise herumbewegt, wobei der Faden einen Kegel beschreibt (Abb. 25). Ein solches Pendel nennt man daher ein Kegelpendel. Die Fliehkraft wird in diesem Fall gerade aufgehoben durch den Teil der Schwerkraft, der das Pendel senkrecht nach innen zu treiben sucht. Daraus ergibt sich, daß die ganze Umlaufsdauer des Pendels T gleichkommt $2\,\pi\sqrt{l/g}$, wobei l die Pendellänge und g die Schwerebeschleunigung ist und π die bekannte Ludolfsche Zahl 3,14..., die das Verhältnis des Umfangs zum Durchmesser eines Kreises angibt.

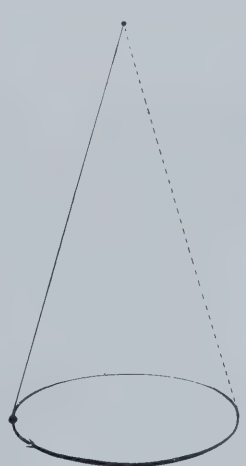


Abb. 25. Kegelpendel.

Wirft man durch einen seitlich aufgestellten Scheinwerfer den Schatten eines solchen Pendels auf eine lotrechte Wand, dann führt der Schatten eine Bewegung aus, wie man sie bei einem einfachen ebenen Pendel beobachten kann, das nur in einer Ebene hin und her schwingt; und es läßt sich beweisen, daß die Schwingungsdauer dieses ebenen Pendels genau die gleiche ist wie die des Kegelpendels von gleicher Länge.

Auffällig ist bei dieser Formel, daß sie die Schwingungsdauer nicht von dem

Ausschlag des Pendels (Amplitude) abhängig zeigt. Diese wichtige Tatsache wurde zuerst von Galilei festgestellt. Sie rührt daher, daß dem doppelten Ausschlag auch doppelte beschleunigende Kräfte entsprechen, so daß der doppelte Weg doch in derselben Zeit zurückgelegt wird. Freilich gilt das streng nur für Pendel, bei denen der Ausschlag nicht zu groß ist.

Die Pendel, die man in Wirklichkeit benutzt, unterscheiden sich von dem soeben betrachteten, das man als mathematisches Pendel bezeichnet, dadurch, daß auf ihrer ganzen Länge merkliche Massen verteilt sind, und es tritt die Frage auf, wie groß die Schwingungsdauer eines solchen Pendels ist, das man als physisches Pendel bezeichnet.

Man hat es hier mit einem Vorgang zu tun, bei dem die einzelnen Punkte des Pendels verschiedene Geschwindigkeiten und verschiedene Beschleunigungen erfahren. Zur Festlegung der Bewegung genügt daher die Betrachtung der Bewegung eines Punktes im Abstand 1 vom Drehpunkt. Die Geschwindigkeit, die dieser Punkt hat, nennt man die Winkelgeschwindigkeit, die Beschleunigung, die er erfährt, die Winkelbeschleunigung. Für die Bewegung ist dann auch nicht nur maßgebend die Kraft, die an einem Punkte angreift, sondern das Drehmoment oder Drehvermögen, das sie bewirkt. Das ist also das Vielfache des Kraftanteils senkrecht zum Pendel mit dem Abstand des Punktes vom Drehpunkt. Dann läßt sich zeigen, daß die Winkelbeschleunigung wächst mit dem einwirkenden Drehmoment.

Wie gehen nun die zu beschleunigenden Massen ein? Auch sie kann man ersetzen durch Massen, die im Abstand 1 angebracht werden. Es zeigt sich aber, daß man die vierfache Masse im Abstand 1 anbringen muß, wenn sie die Masse 1 im Abstand 2 ersetzen soll. Es rührt das daher, daß der doppelte Hebelarm an sich ein doppeltes Drehvermögen bei gleicher Beschleunigung erfordern würde; in Wirklichkeit erfährt die Masse im Abstand 2 aber bei gleicher Winkelbeschleunigung die doppelte absolute Beschleunigung, so daß im ganzen die vierfache Masse im Abstand 1 unter dem Einfluß desselben Drehvermögens dieselbe Winkelbeschleunigung erfährt wie dieselbe Masse im Abstand 2. Diese vierfache Masse nennt man das Trägheitsmoment, was soviel heißt wie Drehträgheit, d. h. die eben für die Drehbewegung maßgebende träge Masse. Will man die Masse eines physischen Pendels durch eine Masse im Abstand 1 ersetzen, so hat man also jede einzelne Masse zu vervielfachen mit dem Quadrat ihres Abstandes vom Drehpunkt und diese Vielfache alle zusammenzuzählen. Auf diese Art erhält man die Drehträgheit oder das Trägheitsmoment des ganzen Pendels. Dann gilt der Satz:

Die Winkelbeschleunigung ist gleich dem wirksamen Drehmoment, geteilt durch das Trägheitsmoment.

Nun ist das Drehmoment um so größer, je größer der Verdrehungswinkel des Pendels ist. Das größte Drehmoment für den Winkel 90^0 nennt man die „Direktionskraft" oder Richtkraft. Dann gilt allgemein der Satz:

Die Schwingungsdauer ist gleich

$$2\pi\sqrt{\frac{\text{Trägheitsmoment}}{\text{Direktionskraft}}}\,.$$

Diese Formel ist ganz ähnlich der für die Schwingungsdauer des mathematischen Pendels, gilt aber nun ganz allgemein für alle Drehbewegungen, die um einen festen Punkt herum stattfinden.

Ebenso wie sich nun das Grundgesetz der Kraftlehre für geradlinige Bewegungen durch einen Satz über den Impuls oder Trieb ausdrücken läßt, so auch der obige Satz für Drehbewegungen durch einen Satz über den Drehimpuls oder Drehtrieb. Darunter versteht man das Vielfache aus Winkelgeschwindigkeit und Trägheitsmoment. Der Satz lautet dann:

Die Zunahme des Drehtriebes (Drehimpulses) in der Zeiteinheit ist gleich dem einwirkenden Drehvermögen (Drehmoment).

irkt kein Drehvermögen von außen ein, so bleibt der Drehtrieb (Drehimpuls) erhalten. Diese Aussage tritt also für einen umlaufenden Körper wie die Erde an Stelle des einfachen Impulssatzes und ist gegebenenfalls bei der Betrachtung der oben besprochenen inneren — vulkanischen — oder sonstigen Kräften zu beachten.

7. Kraftlehre der Flüssigkeiten und Gase.

Die verschiedenen Zustandsarten oder Aggregatzustände „fest", „flüssig" und „gasförmig" kann man durch die folgenden Eigenschaften genauer kennzeichnen. Ein fester Körper äußert Widerstand sowohl gegen Änderungen der Form als des Raumes oder Volumens, man sagt daher, er besitze sowohl Form- als Raumelastizität. Die Flüssigkeit besitzt nur Raumelastizität, dagegen keine Formelastizität, d. h. einzelne Teile der Flüssigkeit lassen sich ohne merklichen Widerstand gegeneinander verschieben. Das Gas unterscheidet sich von der Flüssigkeit nur durch geringere Raumelastizität und besitzt ebensowenig wie jene Formelastizität. Der Unterschied der Flüssigkeit von dem Gas ist daher kein grundsätzlicher, worauf später noch genauer eingegangen wird, sondern nur ein größenmäßiger (quantitativer). Es empfiehlt sich daher, Flüssigkeiten und Gase gemeinschaftlich zu behandeln.

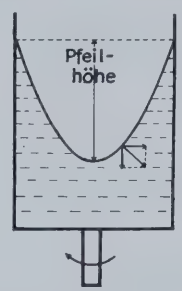


Abb. 26. Fliehkraft einer Flüssigkeit.

Betrachtet man zunächst eine Flüssigkeit, etwa Wasser, das man in eine weite Schale gegossen hat, so beobachtet man, daß sich nach kurzem die Oberfläche wagrecht einstellt. Man kann daher allgemein den Satz aufstellen, daß eine Flüssigkeitsoberfläche sich stets senkrecht einstellt zur Richtung der einwirkenden Kraft.

Ein einfaches Beispiel für diesen Satz bietet der Fall, daß man einen mit Wasser gefüllten Zylinder um seine Achse rasch herumdreht. Die Wasserteilchen sind dann außer der Schwerkraft auch noch der Fliehkraft ausgesetzt. Man setze die beiden (s. Abb. 26) nach dem Parallelogramm zusammen, so erhält man eine gegen die Wagrechte geneigte Gesamtkraft, zu der die Oberfläche des Wassers senkrecht stehen muß. Es ergibt sich, daß die Oberfläche die Form eines Umdrehungsparaboloids annehmen muß, d. h. einer Fläche, die man erhält, wenn man eine Parabel um ihre Achse umlaufen läßt. Nennen wir die Senkung des tiefsten Punktes der Flüssigkeit unter den höchsten am Rande die Pfeilhöhe der Parabel, so wird diese Pfeilhöhe um so größer sein, je rascher der Zylinder umläuft. Man kann sie daher unmittelbar als Maß für die Umlaufsgeschwindigkeit und zum Bau eines Drehzahlmessers verwenden.

Da man es bei einer Flüssigkeit mit gleichförmig verteilten Massen zu tun hat,

im Gegensatz zu den punktförmig angeordneten Massen, die bei der Mechanik fester Körper in erster Linie in Frage kommen, so verteilen sich die einwirkenden Kräfte auch auf Flächen, und dann spricht man vom Druck. Darunter versteht man die Kraft, die auf die Flächeneinheit einwirkt.

Setzt man nun die Flüssigkeit in einem waagrecht ausgedehnten Trog äußerem Drucke aus, indem man durch einen seitlich angebrachten Zylinder einen Stempel einwirken läßt, so wird sich dieser Druck, wie man aus dem Energiesatz ableiten kann, gleichmäßig auf die ganze Flüssigkeit verteilen, so daß also jede Flächeneinheit überall denselben Druck erfährt (s. Abb. 27).

Auf diesen Satz kann man eine einfache Maschine gründen, nämlich die Flüssigkeits- oder hydraulische Presse. Man bringe einen engen Zylinder mit einem weiten durch eine zwischengelegte Röhre in Verbindung und übe mit einem Stempel auf die engere Röhre einen Druck aus. Dann wird die Flüssigkeit in der weiten Röhre auf jede Flächeneinheit des Stempels den gleichen Druck ausüben. Ist also z. B. diese Fläche hundertmal so groß wie die andere, so wird sie den hundertfachen Gesamtdruck erfahren (s. Abb. 28).

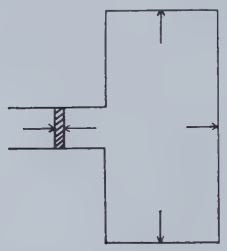


Abb. 27. Gleichmäßige Druckverteilung in einer Flüssigkeit.

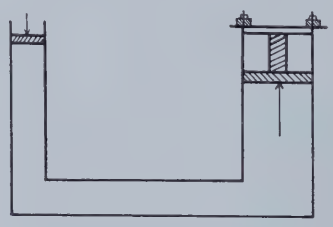


Abb. 28. Flüssigkeitspresse (hydraulische Presse).

Nun steht jede Flüssigkeit unter dem Druck ihres eigenen Gewichtes, und so kommt es, daß der Druck mit der Tiefe zunimmt, und dieser Druck hängt für eine gegebene Flüssigkeit nur von ihrer Höhe ab, nicht von der Form des Gefäßes. Zusammenhängende (kommunizierende) Röhren werden daher eine darin befindliche Flüssigkeit im Gleichgewicht sehen, wenn die Oberflächen in beiden gleich hoch stehen, eine Tatsache, die man bei Bau der sogenannten „Kanalwaagen" verwendet.

Der Druck, der in einer bestimmten Tiefe auf der Flächeneinheit lastet, ist gleich dem Gewicht der Flüssigkeitssäule, die man senkrecht über dieser Fläche errichten kann. Sei diese z. B. 10 m = 1000 cm hoch und bestehe aus Wasser, so wird auf 1 qcm das Gewicht von 1000 ccm Wasser, also 1000 g oder 1 kg wirken, d. i. der Druck, den, wie wir alsbald sehen werden, die Atmosphäre ungefähr auf 1 qcm ausübt; man nennt diesen Druck daher auch eine Atmosphäre. Die tiefsten Stellen der Ozeane reichen bis über 10000 m. In solchen Tiefen herrscht also der gewaltige Druck von über 1000 Atmosphären, dem dort vorhandene Lebewesen angepaßt sein müssen.

Würde die Flüssigkeit nicht aus Wasser bestehen, sondern aus einer spezifisch schwereren, z. B. aus Quecksilber, so würde der Druck entsprechend größer sein. Das Gewicht des Kubikzentimeters eines Körpers in Grammen ausgedrückt nennt man sein spezifisches Gewicht. Das spezifische Gewicht des Quecksilbers ist 13,6. Eine Quecksilbersäule von 1 m Höhe übt daher einen Druck von 1,36 kg oder 1,36 Atmosphäre aus. Der Druck p einer Flüssigkeitssäule von der Höhe h und dem spezifischen Gewicht s ist daher allgemein: $p = s \cdot h$.

Was geschieht nun, wenn man einen festen Körper in eine Flüssigkeit eintaucht?

Denken wir uns ihn der Einfachheit halber in der Form eines Zylinders vom Querschnitt 1 und einer Höhe von 10 cm (Abb. 29), dann wird der auf die untere Begrenzungsfläche des Zylinders vom Wasser ausgeübte Druck um 10 g größer sein als der auf die obere Fläche ausgeübte. Der Körper wird daher einen Auftrieb von 10 g erfahren, d. i. gleich dem Gewicht des vom Zylinder verdrängten Wassers. Dieser Satz gilt allgemein und wurde zum erstenmal von Archimedes ausgesprochen: Jeder in eine Flüssigkeit eingetauchte Körper erfährt einen Auftrieb, der dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeit gleichkommt.

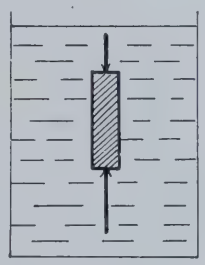


Abb. 29. Der Auftrieb in einer Flüssigkeit.

Auf diesem Auftrieb beruht die Möglichkeit, das spezifische Gewicht von Körpern zu bestimmen. Man braucht bloß den Körper erst in Luft und dann unter Wasser zu wiegen und das Gewicht in Luft durch den Gewichtsverlust in Wasser zu teilen, um das spezifische Gewicht zu erhalten.

Was von Flüssigkeiten gilt, gilt genau in gleicher Weise von der Luft und anderen Gasen, denen ebenso wie anderen Körpern ein Gewicht zukommt, wenn auch ihr spezifisches Gewicht bedeutend kleiner ist als das der Flüssigkeiten und festen Körper. In der freien Atmosphäre drücken die oberen Schichten auf die unteren, und so kommt es, daß der Luftdruck am Boden am größten ist und nach oben hin abnimmt.

Man kann ihn nach Torricelli dadurch bestimmen, daß man eine ausreichend lange Röhre, die auf der einen Seite geschlossen ist, mit Quecksilber füllt, mit dem Daumen abschließt, umkehrt, in eine Quecksilberwanne eintaucht und den Daumen losläßt. Dann fällt das Quecksilber in der Röhre bis zu einem bestimmten Betrag, so daß die Quecksilbersäule nur etwa eine Höhe von 76 cm erhält (Abb. 30). Dem Luftdruck hält dann die Quecksilbersäule das Gleichgewicht. Ihr Druck ist nach der vorhin abgeleiteten Formel gleich dem Vielfachen von 76 (h) und dem spezifischen Gewicht des Quecksilbers 13,6 (s), das sind 1033 g oder rund 1 kg, das ist also zugleich der Druck einer „Atmosphäre". Daß der Luftdruck und mit ihm unser „Barometer" am Boden schwankt mit dem Wetter, genauer mit dem Wasserdampfgehalt der Luftsäule, braucht hier kaum erörtert zu werden. Mit der Höhe nimmt er ab, weil der Druck der darunterliegenden Luftsäule wegfällt, und beträgt z. B. in einer Höhe von rund 5500 m nur halb so viel wie am Boden.

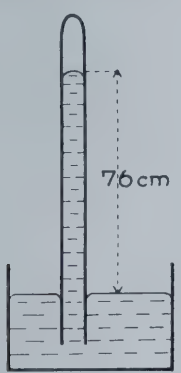


Abb. 30. Torricellis Barometer.

Auch in Luft erfährt jeder Körper einen Auftrieb, der dem Gewicht der verdrängten Luft gleichkommt. Bei Körpern von hohem spezifischen Gewicht merkt man natürlich von diesem Auftrieb nur wenig. Anders liegt aber die Sache, wenn man einen großen Ballon mit Leuchtgas oder Wasserstoff füllt, dann erfährt jedes Kubikmeter einen Auftrieb von rund 1,3 kg — das Gewicht der verdrängten Luft — wovon das Gewicht z. B. des Wasserstoffs mit rund 0,1 kg in Abzug kommt, so daß immer noch für den reinen Auftrieb ein Betrag von 1,2 kg übrig bleibt. Darauf beruht die Luftfahrt mit Hilfe von Freiballonen und Luftschiffen.

In der freien Atmosphäre nimmt nicht bloß der Druck der Luft mit der Höhe ab, sondern auch ihr spezifisches Gewicht oder ihre Dichte, d. h. die Masse der Raumeinheit. Über den Zusammenhang zwischen Druck und Dichte bei unveränderter Temperatur kann man sich etwa durch folgenden Versuch leicht unterrichten (Abb. 31). Man bringe den Zylinder Z_1 durch enge Röhre einerseits mit einem Druckmesser (Manometer) D, andererseits mit einem Zylinder Z_2 von gleichem Rauminhalt in Verbindung, der durch den Kolben K abgeschlossen sei. Drückt man jetzt den Kolben nach unten, so wird — wenn man von dem Inhalt der engen Röhre absieht — der Rauminhalt oder das Volumen v, das der eingeschlossenen Luft zur Verfügung steht, auf die Hälfte herabgesetzt, aber ihre Dichte verdoppelt. Gleichzeitig sieht man das Quecksilber in der langen Röhre des Druckmessers steigen. War diese luftleer und betrug der Anfangsdruck 76 cm, so wird er jetzt auf 2 mal 76 steigen, d. h. der Luftdruck hat sich verdoppelt. Stand umgekehrt zu Beginn des Versuchs der Kolben im Zylinder Z_2 unten und man zieht ihn hinauf, so wird der Rauminhalt der Luft verdoppelt, ihre Dichte halbiert und man sieht das Quecksilber im langen Rohr fallen. War der Ausgangsdruck bei diesem zweiten Versuch gleichfalls 76 cm, so wird der Enddruck nur noch $^1/_2$ von 76 cm betragen, allgemein: Der Gasdruck p steht im Verhältnis der Dichte des Gases oder im umgekehrten Verhältnis des Rauminhaltes v, oder $p \cdot v = C$, d. h. das Vielfache aus Druck und Rauminhalt bleibt unveränderlich (konstant).

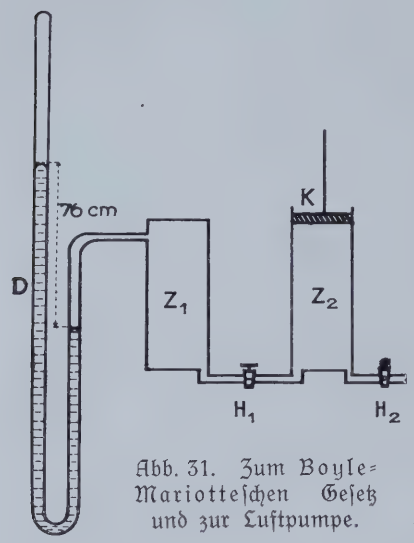


Abb. 31. Zum Boyle-Mariotteschen Gesetz und zur Luftpumpe.

Das ist der Ausdruck des wichtigen Gesetzes von Boyle-Mariotte.

Schließt man nach dem letzten Versuch den Hahn H_1 und öffnet den bisher geschlossenen Hahn H_2, und drückt den Kolben wieder nach unten, so kann man dadurch die Luft aus dem Zylinder Z_2 ins Freie befördern. Druck und Dichte in Z_1 sind dann gegenüber dem Ausgangszustand auf die Hälfte herabgegangen. Durch geeignete Wiederholung des Versuchs unter Betätigung des Kolbens und der Hähne kann man Druck und Dichte in Z_1 immer weiter herabsetzen. Damit ist das Verfahren der Stiefelluftpumpe gekennzeichnet, deren erste Otto v. Guericke baute und im Jahre 1654 auf dem Reichstag zu Regensburg zu seinen berühmten Versuchen mit den „Magdeburger Halbkugeln" benutzte und damit der großen Öffentlichkeit bekannt gab.

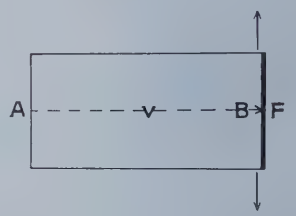


Abb. 32. Strömungsdruck eines Gases oder einer Flüssigkeit.

Die besten neueren Stiefelluftpumpen ohne Flüssigkeitsdichtung gestatten den Luftdruck bis auf etwa 1 mm Quecksilberdruck herabzusetzen. Will man weiter kommen, so wendet man jetzt andere Verfahren an, mit denen sich leicht ein Druck

von etwa ein Milliontel Millimeter Quecksilberdruck, also rund ein Milliardstel Atmosphärendruck erreichen läßt.

Vom Gleichgewichtsdruck ist der Bewegungsdruck W einer Flüssigkeit grundsätzlich verschieden. Er entspricht dem Trieb der in 1 sec auf die Fläche F mit der Geschwindigkeit v aufprallenden Luftmasse von der Dichte d. Diese Masse ist F v d; daher ist $W = m\,v = F\,v^2\,d$. Dies ist die Grundgleichung für die Lehre vom Flugzeug (Abb. 32).

8. Anfangsgründe der Wärmelehre.

Die Wärme ist eine Erscheinung, die wir zunächst nur durch das Gefühl wahrnehmen; merkwürdigerweise handelt es sich dabei nicht nur um verschiedene Stufen derselben Empfindungsart, sondern um verschiedene Empfindungsarten oder Qualitäten. Denn die menschliche Haut ist sowohl mit empfindlichen Zellen ausgerüstet, die Wärme, als auch mit solchen, die Kälte anzeigen. Da trifft es sich gut, daß es ein einfaches sachliches Merkmal gibt, an dem man die Erhöhung des Wärmegrades oder der Temperatur eines Körpers erkennen kann, das ist seine Ausdehnung, wenigstens ist Ausdehnung die Regel.

Am stärksten dehnen sich Luft und Gase aus. Man fülle nur in eine Flasche (s. Abb. 33) etwas gefärbtes Wasser, verschließe sie mit einem Stopfen, durch den eine bis nahe zum Boden des Gefäßes reichende Glasröhre gesteckt ist, und erwärme sie mit der Hand; alsbald wird das gefärbte Wasser in der Röhre emporsteigen als Kennzeichen dafür, daß die Luft sich ausdehnt und zugleich ihren Druck vermehrt hat. Man hat hier die einfachste Form eines Messers für Wärmegrade oder Thermometers vor sich, eine Art Luftthermometer. Am bekanntesten sind die Quecksilberthermometer, von denen daher nicht weiter gesprochen zu werden braucht.

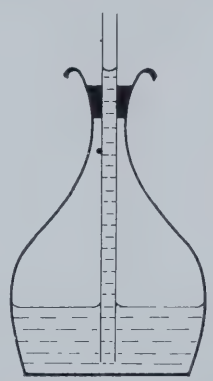


Abb. 33. Ausdehnung der erwärmten Luft.

Die Hauptschwierigkeit beim Bau von Thermometern war die, bestimmte Wärmegrade stets in gleicher Weise wieder zu erhalten und als solche wieder zu erkennen und es dauerte lange, bis man bemerkte, daß das schmelzende Eis und das siedende Wasser bei einem regelmäßigen (normalen) Luftdruck von 76 cm Quecksilber unveränderliche Wärmestufen darstellen. Der berühmte Celsius nannte merkwürdigerweise den Wärmegrad des siedenden Wassers 0^0 und den des schmelzenden Eises 100^0, während wir es jetzt umgekehrt machen. Die Zwischengrade kann man dann einfach dadurch festlegen, daß man gleichen Volumänderungen gleiche Änderungen des Wärmegrades zuschreibt, wodurch die Celsiusgradteilung festgelegt ist. Das setzt aber eine vollständig gleichförmige Ausdehnung des Körpers voraus und es tritt die Frage auf, ob beispielsweise ein Quecksilber- und ein Alkohol-Thermometer, die beide bei 0^0 und 100^0 übereinstimmen, dies auch bei 50^0 tun. Das ist keineswegs der Fall. Die Abweichungen verschiedener Thermometer voneinander betragen dann erhebliche Bruchteile von 1^0 C. Wenn man indes Thermometer aus Sauerstoff, Wasserstoff oder Helium benutzt, weichen sie praktisch nicht voneinander ab.

Die Ausdehnung beliebiger Körper wird gekennzeichnet durch den sogenannten Ausdehnungskoeffizienten oder die Ausdehnungszahl. Darunter versteht man die Verlängerung der Längeneinheit eines Körpers bei Erwärmung um 1^0 C. Beispielsweise hat Eisen einen Ausdehnungskoeffizienten von rund 0,00001, d. h. daß sich z. B. ein Eisenstab von 1 m Länge beim Erwärmen um 100^0 C um rund 1 mm ausdehnt. Einen besonders kleinen Ausdehnungskoeffizienten besitzt das Glas, nämlich nur ungefähr die Hälfte von dem des Eisens, dagegen hat Hartgummi einen etwa siebenmal so großen.

Während nun bei festen Körpern in erster Linie die Verlängerungen der Längenausdehnung in Erscheinung tritt, wird bei Flüssigkeiten und Gasen die Vergrößerung des Rauminhalts unmittelbar beobachtet. Der „kubische" oder Raum-Ausdehnungskoeffizient ist dreimal so groß wie der zugehörige Längen- oder lineare Ausdehnungskoeffizient und bezeichnet die Vergrößerung der Raumeinheit für 1^0 C Temperaturerhöhung. Er beträgt für Wasser zwischen 20^0 und 30^0 rund 0,0002, für Alkohol 0,0011 und für Gase 0,00367 $= 1/273$.

Würde man also ein Gas auf -273^0 abkühlen können, ohne daß es sich verflüssigte, so würde es sich bis auf den Rauminhalt Null zusammenziehen. Man erhält daher ein bequemes Wärmegradmaß, wenn man den Nullpunkt an diese Stelle, d. h. auf -273^0 C verlegt, und diesen nennt man den Nullpunkt der absoluten Temperatur. Die Grade der „absoluten Skala" stimmen mit den Celsiusgraden überein. Es wird sich später herausstellen, daß dieser „absoluten Temperatur" eine sehr viel weitergehende Bedeutung zukommt, als es aus dieser rein formelhaften Bestimmung hervorzugehen scheint.

Unter Benutzung dieses Maßes kann man dann das Gesetz von Gay-Lussac, das die Abhängigkeit des Rauminhaltes v eines vollkommenen oder „idealen" Gases von der Temperatur darstellt, einfach so aussprechen: Der Rauminhalt v ist der absoluten Temperatur T verhältig.

Vereinigt man es mit dem Boyle-Mariotteschen Gesetz, das die Abhängigkeit des Volumens vom Druck p regelt (vgl. den vorhergehenden Abschnitt), so erhält man die Beziehung: $p\,v = R\,T$, worin R die „Gaskonstante" der „Zustandsgleichung" oder des Boyle-Mariotte—Gay-Lussacschen Gesetzes bezeichnet.

Wohl zu unterscheiden hat man von dem Wärmegrad die Wärmemenge. Ihr Begriff wird abgeleitet aus der Beobachtung, daß man die Wärme in vielen Fällen wie einen Stoff übertragen kann. Stellt man eine Flamme unter ein mit Wasser gefülltes Gefäß, so wird sie ihre Wärme auf das Wasser übertragen. Taucht man jetzt einen Körper in das erwärmte Wasser hinein, so wird auch dieser sich erwärmen usf. Besonders wichtig waren die Entdeckungen von Richmann und Black in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts an den Mischtemperaturen von Stoffen verschiedener Temperatur und verschiedener Menge. Mischt man z. B. 1 kg Wasser von 0^0 C mit 1 kg von 100^0 C, so erhält man 2 kg von rund 50^0 C. Würde man aber 2 kg von 0^0 C mit 1 kg von 100^0 mischen, so würde man nur eine Mischtemperatur von $33\,1/3^0$ C erhalten. Eine Erklärung für dieses Verhalten findet man, wenn man annimmt, daß stets dieselbe Wärmemenge nötig ist, um eine Masseneinheit Wasser, z. B. 1 kg, um 1^0 zu erwärmen. Diese Einheit der Wärmemenge nennt man die Kilogramm-Kalorie.

Im letzten Fall gibt also 1 kg Wasser von 100° C $66^2/_3$ Kalorien ab, die genügen, um 2 kg auf $33^1/_3{}^0$ zu erwärmen. Man würde aber fehlgehen zu glauben, daß alle Körper von gleicher Masse dieselbe Wärmemenge brauchen, um auf 1° C erwärmt zu werden. So ist zur Erwärmung von 1 kg Blei um 1° C nur $^1/_{30}$ Kalorie nötig, und diese Zahl nennt man die spezifische Wärme oder Wärmekapazität oder das Wärmefassungsvermögen. Diese Größe ist in der Physik und Chemie von großer Bedeutung geworden.

9. Wärmeenergie (Macht der Wärme).

Die Vorstellung der stofflichen Natur der Wärme, die immerhin am Ende des 18. Jahrhunderts eine stattliche Zahl von Erscheinungen zu erklären erlaubte, blieb nicht unangefochten. Von einem Stoff mußte man offenbar verlangen, daß er unzerstörbar sei und nicht neu geschaffen werden könne. Nun war aber bekannt, daß man allein durch Reibung Wärme erzeugen kann, ein Verfahren, das ja die Wilden benutzen, um Feuer anzufachen.

Es bleibt stets staunenswert, auf welch sinnreichem Wege Robert Mayer zu den neuen Vorstellungen kam. Als Schiffsarzt im Jahre 1840 auf einer Reise nach den Tropen begriffen, fiel es ihm auf, daß das Blut der zur Ader gelassenen Matrosen sehr viel heller war, als es zu Hause beobachtet wurde.

Nun ist die Dunkelheit des venösen Blutes ein Zeichen für den Stoffverbrauch. Der Stoffumsatz kann aber auf zweierlei Art erfolgen. Zunächst durch angestrengte Arbeit des Menschen, dann aber auch durch Wärmeerzeugung, um für die an die kältere Umgebung abgegebene Wärme Ersatz zu schaffen. Diese abgegebene Wärme ist nun in den Tropen offenbar sehr viel geringer als in gemäßigten Breiten. Und so kam Robert Mayer auf den Gedanken der Gleichwertigkeit von Arbeit und Wärme. Und wie man durch Arbeit Wärme erzeugen kann, so konnte man auch umgekehrt in der damals schon bekannten Dampfmaschine aus Wärme Arbeit erzeugen. Es gelang sogar Robert Mayer durch eine tiefsinnige Betrachtung aus bekannten Beobachtungsangaben diejenige Arbeit zu berechnen, die erforderlich ist, um 1 Kilogrammkalorie zu erzeugen. Dieser Arbeitswert der Wärme ist unter dem Namen des mechanischen Wärmeäquivalents bekannt.

Damit war eine Erweiterung des Gesetzes der Erhaltung der Energie, die als in der reinen Mechanik gültig nachgewiesen war, gefunden, und gleichstrebende Männer stützten den neuen Gedanken. So hat der Physiker Joule in England, von Haus aus Bierbrauer, durch immer neue Versuche den Arbeitswert der Wärme zu bestimmen unternommen, hauptsächlich indem er gemessene Reibungsarbeit in gleichfalls gemessene Wärmemenge umsetzte. Und diese Versuche sind später von anderen in größerem Maßstabe wiederholt worden. Man kann heute sagen, daß rund 427 kgm nötig sind, um 1 Kilogrammkalorie zu erzeugen.

In umfassender Weise hat dann Helmholtz in seiner berühmten Abhandlung über die „Erhaltung der Kraft", wofür man heute „Erhaltung der Energie" sagen würde, auf allen Gebieten der Physik nachgewiesen, wie stets eine neue Art von Energie auftritt, wenn eine bekannte Art der Energie verschwindet, so daß in einem nach außen abgeschlossenen Gebilde die Summe der Energien stets erhalten bleibt.

Neben der Wärmeenergie hat Helmholtz besonders auch die elektrische Energie ins Auge gefaßt; doch davon später.

Durch den Satz von der Erhaltung der Energie sind alle Versuche des Baues eines „Perpetuum mobile" von vornherein zum Scheitern verurteilt, d. h. von Vorrichtungen, die lediglich durch geeignete Kunstgriffe Arbeit ohne Aufwendung fremder Energie gewinnen wollen.

10. Zustandsformen (Aggregatzustände).

Daß die Gase bei Änderung ihres Rauminhaltes entsprechend dem Boyle-Mariotteschen Gesetz verhältnismäßige Druckänderungen erfahren, war schon in Abschnitt 7 angeführt worden, und ebenso wie die Gase verhalten sich stark erhitzte, „überhitzte" Dämpfe, die nicht mit ihrer Flüssigkeit in Berührung stehen.

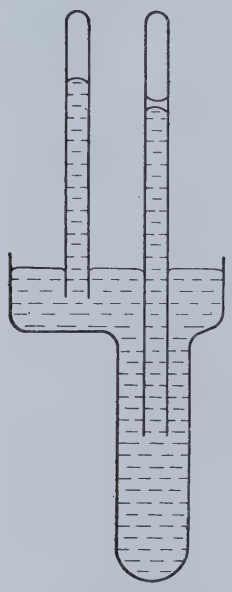


Abb. 34. Dampfspannung des Wassers. Links: Luftleere über Quecksilber. Rechts: Wasserdampf über Quecksilber.

Ganz anders liegt die Sache aber, wenn ein solcher Dampf sich mit seiner Flüssigkeit in Berührung befindet (s. Abb. 34). Das Wasser zeigt nämlich nicht nur bei 100° Neigung, in Dampfform überzugehen. Man überzeugt sich davon, wenn man in eine Torricellische Luftleere etwas Wasser einfüllt. Dann wird das Quecksilber bei Zimmertemperatur ungefähr um 1,5 cm hinabgedrückt, ein Beweis dafür, daß ein Teil des Wassers in Dampf übergegangen ist und dabei einen Druck von 1,5 cm Quecksilber ausübt. Würde man jetzt das Rohr etwas in die Höhe ziehen, so daß ein größerer Raum zur Verfügung steht, so würde der Druck nicht abnehmen, wie bei der Luft, sondern es tritt so lange ein Nachverdampfen ein, bis der alte Dampfdruck von 1,5 cm wieder erreicht ist.

Würde man umgekehrt das Rohr tiefer in das Quecksilber hinabsenken, so würde der Dampfdruck nicht ansteigen, sondern es würde ein Teil des Dampfes sich verflüssigen, bis der alte Druck wieder hergestellt ist. Wenn also ein Dampf mit seiner Flüssigkeit in Berührung ist, so stellt sich bei gegebener Temperatur stets derselbe Dampfdruck und dieselbe Dampfdichte ein, die nicht gesteigert werden kann. Man nennt deshalb einen solchen Dampf gesättigt. Sein Druck ist nur noch abhängig von der Temperatur. Erhitzt man das Wasser, so wird es in der Torricellischen Röhre hinabsinken, ein Beweis dafür, daß der Dampfdruck gestiegen ist. Erhitzt man immer mehr bis auf 100°, so wird, wenn genug Wasser vorhanden war, das Quecksilber bis auf die Höhe des äußeren Quecksilberstandes herabgedrückt worden sein, ein Beweis dafür, daß der Dampfdruck jetzt 1 Atmosphäre beträgt.

Jetzt verstehen wir auch den Vorgang des Siedens des Wassers. Setzt man ein Gefäß mit Wasser über die Flamme, so beobachtet man nach einiger Zeit kleine Bläschen, die zunächst aus Luft bestehen, die vorher im Wasser gebunden war. Diese Bläschen werden allmählich größer. Der Wasserdampf verdunstet in sie hinein und

macht sie sehr groß, bis schließlich der Dampfdruck so weit gestiegen ist, daß lebhaftes Wallen einsetzt. Jetzt ist der Dampfdruck dem äußeren Luftdruck gleich geworden und kann ihn somit nach Belieben verdrängen. Man entnimmt daraus den Satz: Das Sieden einer Flüssigkeit tritt dann ein, wenn ihr Dampfdruck gleich dem darauf lastenden Druck geworden ist.

Deshalb siedet das Wasser auch nicht immer genau bei 100°; bei einem Barometerstand geringer als 760 mm siedet es früher, bei einem höheren später. Auf Bergen siedet das Wasser daher schon bei tieferen Temperaturen, z. B. auf dem Mont Blanc schon bei 84°. Auf je 27 mm Druck ändert sich die Siedetemperatur um ungefähr 1° C.

Hat man verschiedene Gase oder Dämpfe nebeneinander, so beeinflussen sie einander nicht, wofern sie nicht chemisch aufeinander wirken. Jedes Gas verhält sich so, als ob es allein den ganzen Raum erfüllte und dementsprechend einen gewissen Teildruck (Partialdruck) ausübte. Der Gesamtdruck setzt sich dann aus den einzelnen Drucken zusammen. Das ist ein von Dalton aufgestellter wichtiger Satz.

Er hat besondere Bedeutung für die gleichzeitige Anwesenheit von Wasserdampf und Luft in einem Raum. Man nennt dann den in der Luft vorhandenen Wasserdampf ihre Feuchtigkeit und zwar versteht man unter der absoluten Feuchtigkeit die Anzahl Gramm Wasserdampf, die in einem Kubikmeter Luft enthalten sind. Ist der Raum mit Feuchtigkeit gesättigt, so ist die höchste Feuchtigkeit erreicht, die die Luft bei gegebener Temperatur aufzunehmen fähig ist. Diese Sättigungsmenge bildet daher ein ausgezeichnetes Maß, den Feuchtigkeitsgehalt der Luft zu kennzeichnen. Man versteht dann unter verhältnismäßiger oder relativer Feuchtigkeit das Verhältnis der vorhandenen zu der bei der gegebenen Temperatur möglichen Sättigungsmenge Wasserdampfes. Ist die Luft gesättigt und kühlt sich ab, so muß Verflüssigung des Wasserdampfes eintreten. Es bilden sich dann Nebel oder kleine zu Boden fallende Tröpfchen. Die Bestimmung der Luft-Feuchtigkeit ist daher eine wichtige Angelegenheit der Wetterkunde.

Ebenso wie die Siedetemperatur einer Flüssigkeit vom Druck abhängt, so gilt das auch für die Schmelztemperatur, nur daß diese Änderung bedeutend geringer ist als jene.

Während nun Wasserdampf und Kohlensäure durch genügenden Druck leicht verflüssigt werden können, ist es lange nicht gelungen, Luft, Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff und Helium durch Druck in Flüssigkeit überzuführen. Man hielt diese Gase deshalb lange Zeit für beständig oder „permanent". Die Erklärung dafür gab Andrews, der feststellte, daß bei höheren Temperaturen der Sättigungspunkt und der Verflüssigungspunkt eines Dampfes immer näher zusammenrücken, bis sie sich schließlich vereinigen, so daß oberhalb einer gewissen Temperatur keine Grenze zwischen Flüssigkeit und Dampf mehr erkannt werden kann. Man nennt diese Temperatur die kritische Temperatur. Durch noch so hohen Druck läßt sich also ein Gas nicht verflüssigen, wenn seine Temperatur die kritische Temperatur übersteigt.

Die lange Zeit vergeblichen Bemühungen die Luft zu verflüssigen, legen daher den Gedanken nahe, daß die kritische Temperatur der Luft außerordentlich tief liegen müsse. Dann mußte es aber möglich sein, dies Ziel durch Anwendung von tiefen Temperaturen bei genügend hohem Druck doch zu erreichen.

Dies gelang zum ersten Mal 1877 Cailletet in Paris und Raoul-Pictet in Genf mit Sauerstoff, dem ersteren auch mit Stickstoff.

Wie kann man nun genügend tiefe Temperaturen herstellen? Es geschieht das mit Hilfe von Kältemaschinen, die einen Dampf, etwa schweflige Säure, Ammoniak, Kohlensäure durch eine Druckpumpe (Kompressor) zusammendrücken und verflüssigen, die dabei erwärmte Flüssigkeit zuerst durch einen Wasserkühler schicken und sich dann wieder ausdehnen lassen. Bei dem dann eintretenden Verdampfen wird Wärme verbraucht, die dem Dampf selbst entzogen wird. Der abgekühlte Dampf wird dann wieder in der Pumpe zusammengedrückt und der Kreislauf beginnt von neuem.

Indem man nun stark zusammengedrückten Sauerstoff, Stickstoff oder Luft in solcher Weise vorkühlt und dann entspannt, kühlt er sich dabei noch weiter ab und verflüssigt sich. Die kritische Temperatur der Luft liegt bei etwa —140° C. Läßt man flüssige Luft in einem offenen Gefäße in freier Luft verdampfen, so geht die Temperatur noch weiter herunter bis auf etwa —193° C, der Siedetemperatur der flüssigen Luft bei Atmosphärendruck.

Linde hat ein einfaches sinnreiches Verfahren zur Luftverflüssigung angegeben. Durch Verdampfenlassen von flüssiger Luft im luftverdünnten Raume kann man sie schließlich so weit abkühlen, daß sie fest wird.

Flüssigen Wasserstoff kann man auf dieselbe Weise herstellen, indem man mit flüssiger Luft vorkühlt. Die kritische Temperatur des Wasserstoffs liegt bei —241° C, sein Siedepunkt bei —253°, sein Schmelzpunkt bei —259° C.

Am schwierigsten war es, Helium zu verflüssigen.

Es bedurfte eines förmlichen Feldzugs im Kältelaboratorium in Leiden unter Kamerlingh-Onnes, diesem schwer verflüssigbaren Gase zuleibe zu rücken. Die kritische Temperatur des Heliums liegt bei —268° C, seine Siedetemperatur bei etwa —268,8° C d. h. nur noch rund 4° vom absoluten Nullpunkt entfernt. Die tiefste Temperatur, die man bisher erreichte, liegt etwa 1° über dem absoluten Nullpunkt der Temperatur.

11. Die Lichtstrahlen und ihre Energie.

Geradlinigkeit der Lichtausbreitung. Gegeben ist uns zunächst die Lichtempfindung. Wenn wir nachts im dunklen Zimmer ein Streichholz anzünden, so entsteht in uns eine Lichtempfindung, und man zweifelt nicht, daß irgend etwas von dem brennenden Streichholz ausgeht, das zu unserem Auge gelangend die Lichtempfindung auslöst. Aber auch die vorher unsichtbaren Wände werden jetzt sichtbar, woraus man schließt, daß sie nicht selbst leuchten, sondern von dem Selbstleuchter das Licht nur erborgen und zurückwerfen.

In welcher Weise pflanzt sich nun das Licht von dem Selbstleuchter aus fort? Darüber kann man sich belehren, wenn man beachtet, was geschieht, wenn die Sonne ihr Licht durch die Spalten eines Fensterladens in das Zimmer hineinschickt. Dann wird man gewahr, daß von jeder Spalte des Ladens eine geradlinige Spur des Lichtes ausgeht. Das Licht fällt auf die Staubteilchen, die es zurückwerfen, und so wird die Bahn des Lichtes erkennbar. Hält man die Hand in das volle Sonnenlicht, so ent-

steht auf dem Boden ein Schatten, der der Hand ähnlich ist und somit gleichfalls die geradlinige Ausbreitung des Lichtes bekundet. Das ist der Grund, weshalb man von Lichtstrahlen sprechen kann.

Diese Geradlinigkeit der Ausbreitung des Lichtes macht sich auch bemerkbar an einem merkwürdigen Versuch. Bringt man in dem Laden eines vollkommen verdunkelten Zimmers eine kleine runde Öffnung an und stellt dahinter einen weißen Schirm, so sieht man darauf das umgekehrte Bild der Landschaft vor dem Laden. Abb. 35 erläutert das an dem Bild eines Pfeiles. Der von unten kommende Lichtstrahl wird geradlinig nach oben geworfen , der von oben kommende nach unten, so daß dadurch die Umkehr des Bildes entsteht. Man kann sich auf diesem Grundsatz sogar einen photographischen Apparat herstellen, indem man in ein verdunkeltes Kästchen (camera obscura) ein kleines Loch anbringt und ihm gegenüber die photographische Platte aufstellt.

Geschwindigkeit der Lichtausbreitung. Es fragt sich weiter, mit welcher Geschwindigkeit sich das Licht von dem selbstleuchtenden Körper ausbreitet. Es war eine Entdeckung ersten Ranges, als es Olaf Römer 1676 gelang, durch astronomische Beobachtungen die Endlichkeit der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes nachzuweisen. Er beobachtete einen Jupitermond, der in regelmäßiger Folge in den Schatten des Jupiters ein- und austrat. Die Zeit zwischen zwei Verfinsterungen gibt dann die Umlaufsdauer des Mondes. Solange sich nun die Erde in Jupiternähe befindet, erfolgt der Eintritt des Mondes in den Schatten in stets gleichen Zeitzwischenräumen. Wenn sich aber im Verlauf des Jahres die Erde immer mehr vom Jupiter entfernt, tritt eine merkwürdige Verspätung des Mondeintritts gegenüber der errechneten Zeit ein, und diese Verspätung beträgt schließlich, wenn die Erde auf der anderen Seite der Sonne angekommen ist, ungefähr 16 Minuten oder rund 1000 Sekunden. Es mußte also das Licht, um die Erdbahn zu durchschreiten, eine Zeit von 1000 Sekunden brauchen. Der Durchmesser der Erdbahn beträgt rund 300 Millionen Kilometer. Dieser Weg wird vom Licht in 1000 Sekunden zurückgelegt. Mithin legt das Licht in 1 Sekunde den Weg von 300000 km zurück.

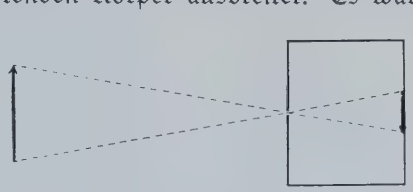


Abb. 35. Das umgekehrte Bild in der Dunkelkammer.

Dieses Ergebnis war für die damalige Zeit so erstaunlich, daß man an der richtigen Deutung der merkwürdigen Erscheinung zweifelte, und es war daher von großer Bedeutung, als es Bradley 1728 gelang, die Lichtgeschwindigkeit noch auf einem anderen, allerdings auch astronomischen Wege zu bestimmen.

Seit Kopernikus' und Keplers Zeit suchte man nach einer gegenseitigen Verschiebung der Sterne, infolge der jährlichen Umlaufsbewegung der Erde; denn wenn es richtig war, daß die Erde nicht feststand als Mittelpunkt aller Himmelsbewegung, sondern sich um die Sonne bewegte, dann mußte eine solche Verschiebung bemerkbar sein, ebenso wie sich die Bäume eines Waldes gegeneinander zu verschieben scheinen, wenn man sich vor dem Wald vorbeibewegt. In der Tat beobachtete nun Bradley eine regelmäßige Verschiebung der Sterne gegeneinander im Verlauf des Jahres. Aber diese Verschiebung war ganz eigenartig.

Sie betraf nicht einzelne Sterne, z. B. die näheren, die sich gegen entferntere verschieben, sondern alle Sterne, die in der Ebene der Erdbahn liegen, in gleicher Weise. Die Ursache dieser Verschiebung mußte also einen anderen Grund haben.

Um ihn zu verstehen, bedenke man, was geschieht, wenn ein lotrecht herabfallender Regentropfen in eine zylindrische Röhre fällt (Abb. 36). Kommt der Tropfen in der Mitte der Röhre an, so fällt er dann auch auf die Mitte des Bodens der Röhre. Wenn sich aber die Röhre wagrecht verschiebt, so wird der in die Mitte der Öffnung hereinkommende Tropfen nicht auf die Mitte des Bodens fallen, sondern auf eine seitlich verschobene Stelle, und es muß die Verschiebung des Tropfens am Boden zur Höhe des Zylinders im selben Verhältnis stehen, wie die Geschwindigkeit v der Röhre zur Geschwindigkeit c des Tropfens. Das Verhältnis der Geschwindigkeiten kann man also aus dem scheinbaren Neigungswinkel des fallenden Tropfens berechnen. Denkt man sich nun an Stelle des Tropfens das Fixsternlicht und statt der Röhre ein Fernrohr, das sich mit der Erde senkrecht zur Richtung des Lichtes bewegt, so muß gleichfalls eine scheinbare Verschiebung der Lichtrichtung eintreten. Diese Verschiebung bezeichnen die Astronomen als Aberration, und der Aberrationswinkel ergab sich nach Bradley zu rund $^1/_{10000}$, wenn man den Winkel im Bogenmaß mißt; das bedeutet also, daß die Lichtgeschwindigkeit 10000 mal so groß ist wie die Erdgeschwindigkeit, und da diese rund 30 km beträgt, so ergab sich wiederum die Lichtgeschwindigkeit zu 300000 km.

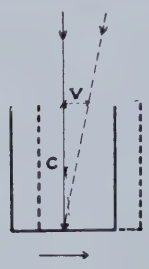


Abb. 36. Zur Erklärung der Aberration.

Später, als die Experimentierkunst genügend fortgeschritten war, gelang es auch, die Lichtgeschwindigkeit durch Messungen auf der Erde zu bestimmen und zwar Fizeau unter Benutzung des Durchmessers von Paris, Foucault unter Benutzung des Durchmessers eines Zimmers. Sie ergab sich innerhalb der Meßgenauigkeit in Übereinstimmung mit der astronomisch ermittelten.

Lichtmeßkunde (Photometrie). Noch etwas anderes kann man über die ungestörte Ausbreitung des Lichtes aussagen, wenn man das Gesetz der Erhaltung der Energie zugrunde legt. Da das Licht eine Erwärmung hervorbringt, so kommt ihm also auch Energie zu. Denkt man sich nun eine annähernd punktförmige Lichtquelle, so wird nach einer bestimmten Zeit ihr Licht bis zu einer gewissen Kugel vorgedrungen sein und nach der doppelten Zeit auf eine Kugel vom doppelten Halbmesser gelangen. Wenn sich also das Licht zwischen den beiden Kugeln ungestört ausbreitet, d. h. keine Energie verloren hat, so muß dieselbe Energie auf die Kugel mit doppeltem Halbmesser kommen, wie auf die mit einfachem Halbmesser. Nun wächst aber die Kugeloberfläche mit dem Quadrat ihres Halbmessers. Mithin kommt auf die Flächeneinheit der großen Kugel nur noch der vierte Teil der Lichtenergie, wie auf die Flächeneinheit der kleinen Kugel. Nennt man diese Energie die Beleuchtungsstärke, so ergibt sich der Satz, daß die Beleuchtungsstärke mit dem Quadrat der Entfernung der Lichtquelle vom Gegenstand abnimmt. Darauf beruht die Möglichkeit, die Lichtstärke zweier verschiedenen Lichtquellen miteinander zu vergleichen (Lichtmeßkunde oder Photometrie).

Zurückwerfung des Lichtes. War bisher nur von der ungestörten Ausbreitung die Rede, so fragt es sich nun, was geschieht, wenn das Licht auf ein Hindernis auftrifft. Ist die Oberfläche dieses Hindernisses rauh, so wird das Licht nach allen Seiten hin unregelmäßig zerstreut. Handelt es sich aber um eine ebene glattgeschliffene Fläche, etwa eine Glasplatte oder einen metallischen Spiegel, so wird das Licht regelmäßig zurückgeworfen (Abb. 37). Dann bildet der zurückgeworfene Strahl Z

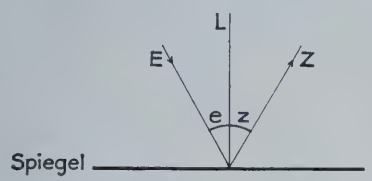


Abb. 37. Regelmäßige Zurückwerfung des Lichtes. E = einfallender Strahl; e = Einfallswinkel; Z = zurückgeworfener Strahl; z = Zurückwerfungswinkel.

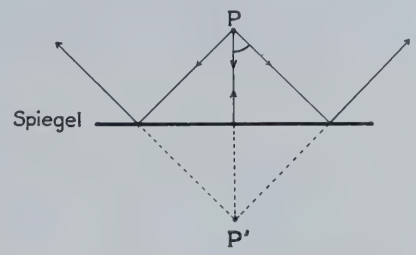


Abb. 38. Scheinbares Bild beim ebenen Spiegel.

mit dem Spiegellot L denselben Winkel — Zurückwerfungswinkel — wie der einfallende Strahl E mit dem Spiegellot — Einfallswinkel. Auf dieser Tatsache beruht die Möglichkeit des Auftretens von Spiegelbildern. Aus Abb. 38 ist ersichtlich, daß alle von P ausgehenden Strahlen so zurückgeworfen werden, als ob sie von einem Punkte P′ kämen, der genau so weit hinter der Spiegeloberfläche liegt, wie der leuchtende Punkt vor dem Spiegel. Man nennt daher P′ das Bild des Punktes P

Abb. 39. Brennpunkt eines Hohlspiegels.

Abb. 40. Umgekehrtes wirkliches Bild beim Hohlspiegel.

und zwar ein scheinbares Bild, weil die Strahlen nicht wirklich zusammentreffen, sondern nur in ihrer Verlängerung.

Ist die spiegelnde Fläche gekrümmt, so kann man sich immer ein kleines Flächenstückchen ausgeschnitten denken, das sich so verhält, wie eine ebene Fläche, und dann gilt das Spiegelgesetz nach wie vor. Es ist nur an Stelle des Lotes auf die ebene Fläche das Lot auf die gekrümmte Fläche zu nehmen. Auch liegt der zurückgeworfene Strahl mit dem einfallenden und dem Lot in einer Ebene.

Ist nun die spiegelnde Fläche hohl, etwa der Teil einer Kugelfläche, so werden parallel einfallende Strahlen nach einem einzigen Punkte zurückgeworfen (Abb. 39), den man den Brennpunkt nennt.

Abb. 40 zeigt, wie das Bild eines Punktes, etwa der Spitze eines Pfeiles, entsteht. Der achsenparallele Strahl wird nach dem Brennpunkt hin zurückgeworfen, der durch den Krümmungsmittelpunkt der Kugel gehende, von dem die Spiegeloberfläche ein Teil ist, wird in sich selbst zurückgeworfen. Wo die beiden Strahlen sich treffen, entsteht das Spiegelbild. Man erkennt, daß auf diese Weise ein wirkliches Bild entsteht, da die Strahlen wirklich zusammentreffen, und zwar ist im vorliegenden Fall das Bild verkehrt und verkleinert. Liegt der Gegenstand innerhalb der Brennweite, so entsteht, wie Abb. 41 zeigt, ein aufrechtes, vergrößertes, scheinbares Bild.

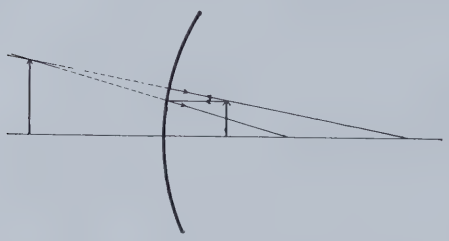


Abb. 41. Aufrechtes, vergrößertes, scheinbares Bild beim Hohlspiegel.

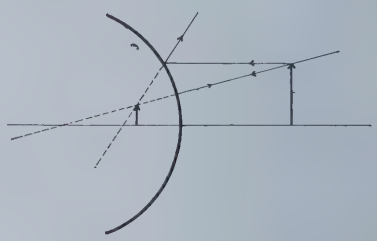


Abb. 42. Aufrechtes verkleinertes, scheinbares Bild beim gewölbten Spiegel.

Bei einem gewölbten Spiegel dagegen (Abb. 42) entsteht stets ein verkleinertes, aufrechtes, ebenfalls scheinbares Bild.

Brechung des Lichtes. Fällt der Strahl auf ein durchsichtiges Mittel, etwa Wasser, so wird neben dem zurückgeworfenen auch ein eindringender Strahl auftreten. Wenn man das Wasser durch ein wenig Milch trübt, kann man den Strahl sichtbar machen und erkennt (Abb. 43), daß der eindringende Strahl nach dem Einfallslote abgelenkt wird. Den Winkel zwischen dem eintretenden Strahl und dem Einfallslot nennt man den Brechungswinkel. Nach Snellius ändert sich der Brechungswinkel b mit dem Einfallswinkel e nach einem bestimmten Gesetze und zwar ist: $\frac{\sin e}{\sin b} = n$, wobei n eine feste Zahl bedeutet, die man als Brechungsverhältnis oder Brechungsexponent bezeichnet.

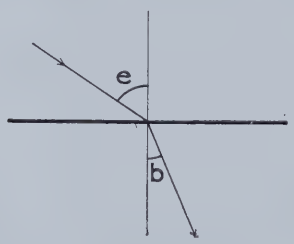


Abb. 43. Snellius' Brechungsgesetz.
e = Einfallswinkel;
b = Brechungswinkel.

Läßt man den Strahl streifend eintreten (s. Abb. 44), so entsteht ein am stärksten abgelenkter Strahl, dessen Winkel mit dem Lot man als Grenzwinkel g bezeichnet.

Würde man in dem Wasser einen Spiegel anbringen, der den Lichtstrahl in sich zurückwirft, so würde auch der austretende Strahl wieder streifend austreten, eine Tatsache, die übrigens ganz allgemein gilt: Der Strahlengang ist derselbe, einerlei ob das Licht von der Luft- oder von der Wasserseite her auf die Grenzfläche auffällt.

Läßt man nun das Licht von der Wasserseite her kommen und den Einfallswinkel immer größer werden, so gibt es nur für Einfallswinkel kleiner als der Grenzwinkel austretende Strahlen. Ist der Einfallswinkel größer als der Grenzwinkel, so gibt es nur einen zurückgeworfenen Strahl, der daher vollständig zurückgeworfen

wird. Nach dem Energiegesetz muß ja die ganze Energie, die einfällt, wieder zurückgeworfen werden. Man hat daher bei dieser vollkommenen Zurückwerfung oder totalen Reflexion einen vollkommenen Spiegel vor sich, was für die Anwendung von größter Bedeutung ist.

Bisher wurde nur die Brechung an einer Grenzfläche betrachtet. Was geschieht nun, wenn das Licht zweimal eine Grenze zu durchdringen hat? Sind die Grenzflächen einander parallel, so wird (s. Abb. 45) der austretende Strahl seitlich verschoben, geht aber parallel dem einfallenden weiter.

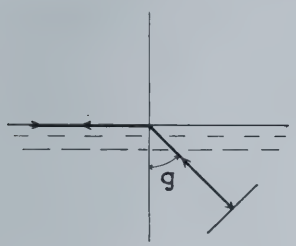


Abb. 44. Streifender Einfall.

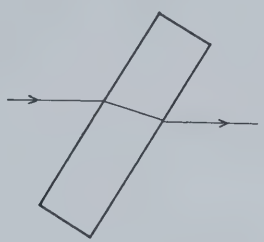


Abb. 45. Brechung durch Planglas.

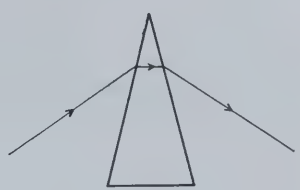


Abb. 46. Brechung durch Keil oder Prisma.

Anders liegt die Sache, wenn die beiden Grenzflächen einen Winkel miteinander bilden, wenn man es also mit einem keilförmigen Glaskörper oder Prisma zu tun hat. Der Strahlengang ist dann der, den man aus Abb. 46 entnimmt, d. h. der Strahl wird nach der dickeren Seite des Prismas hin abgelenkt.

Besonders wichtig sind diese Betrachtungen, wenn man die Brechung an Linsen verfolgt. Diese wirken wie eine Reihe von Prismen (s. Abb. 47), deren Winkel von dem Rande nach der Mitte hin stetig abnimmt. In der Mitte verhält sich die Linse wie ein Planglas.

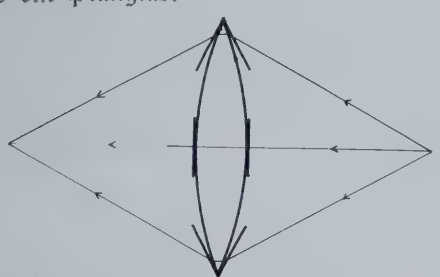


Abb. 47. Brechung durch Sammellinse.

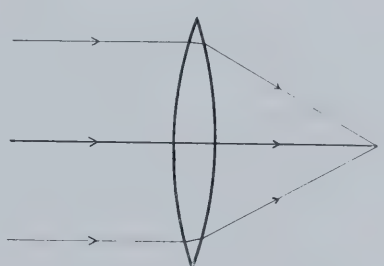


Abb. 48. Brennpunkt einer Sammellinse.

Daraus folgt, daß wenn man eine doppelt gekrümmte Linse — bikonvexe Linse — nimmt, achsenparallele Strahlen nach einem Punkte hin gebrochen werden, den man wieder als den Brennpunkt bezeichnet (Abb. 48).

Abb. 49 zeigt die Entstehung des Bildes von einem Gegenstand, der außerhalb Brennweite liegt. Das Bild ist ein umgekehrtes wirkliches Bild und hat eine Größe, die zu der des Gegenstandes im selben Verhältnis steht, wie der Bildabstand zum Gegenstandsabstand. Liegt der Gegenstand innerhalb Brennweite, so entsteht, wie Abb. 50 zeigt, ein scheinbares, aufrechtes, vergrößertes Bild. Die Linse wirkt jetzt als einfaches Vergrößerungsglas oder Lupe.

Nimmt man statt der doppelt gewölbten eine doppelt hohle Linse — bikonkave Linse — so verhält sie sich so, wie eine Reihe von Prismen, die alle ihre dicke Seite nach außen haben. Während also die innen dickeren Linsen als Sammellinsen wirken, wirken die innen dünneren Linsen als Zerstreuungslinsen (Abb. 51).

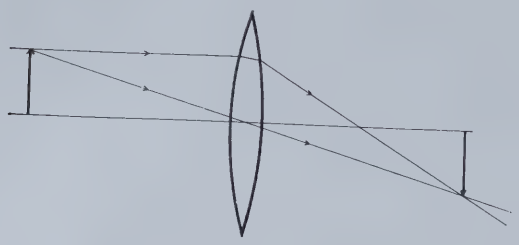


Abb. 49. Wirkliches umgekehrtes Bild durch Sammellinse. Der Gegenstand liegt außerhalb Brennweite.

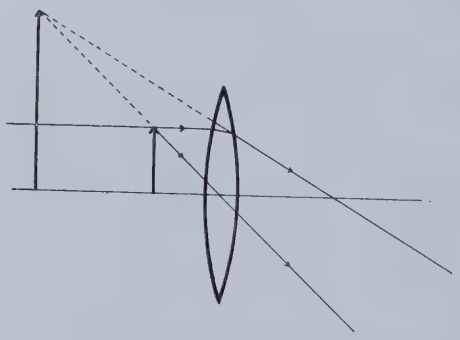


Abb. 50. Scheinbares, aufrechtes vergrößertes Bild durch Sammellinse. Der Gegenstand liegt innerhalb der Brennweite (Lupe).

Ein durch eine solche Linse betrachteter Gegenstand erscheint verkleinert (Abb. 52).

Durch Zusammenwirkung verschiedener Linsen kann man die mannigfachsten Apparate bauen, z. B. Fernrohre und Mikroskope, die aber als Anwendungen der Gesetze des Lichtes hier nicht weiter erörtert werden sollen.

Farbenzerstreuung des Lichtes (Dispersion). Alles, was bisher besprochen wurde, gilt streng nur für den einfarbigen Strahl. Läßt man jedoch einen Strahl weißen Lichtes, der etwa von dem weiß glühenden Krater einer Bogenlampe ausgehe, auf das Prisma auffallen, so zerteilt er sich in ein Büschel farbiger Strahlen.

Bildet man daher zunächst mit Hilfe einer Linse einen Spalt auf einem Schirm ab, so entsteht dort ein weißes Spaltbild; schaltet man jetzt in den Gang der Strahlen ein Prisma, so wird das Bild nicht nur abgelenkt, sondern auch aufgelöst in ein farbiges Band, das Spektrum — vergl. Tafel I. Man sieht die Regenbogenfarben, nämlich

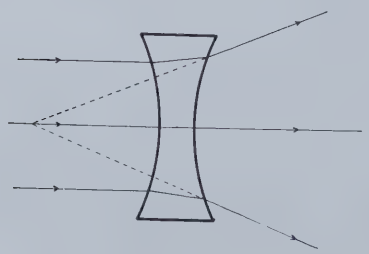


Abb. 51. Brechung durch Zerstreuungslinse.

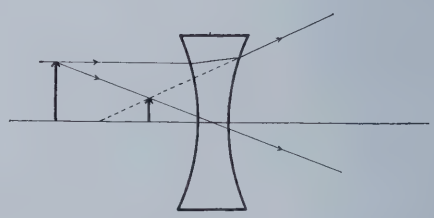


Abb. 52. Scheinbares, aufrechtes verkleinertes Bild durch Zerstreuungslinse.

der Größe der Ablenkung nach geordnet: Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett. Die Lage des unabgelenkten Spaltbildes ist daher weit links von dem farbigen Bande anzunehmen, wenn Rot links liegt, andernfalls umgekehrt. Je nach Geschmack kann man mehr oder weniger Farben unterscheiden.

Das Verständnis für das Zustandekommen dieser Farben hat seinerzeit viel Schwierigkeiten bereitet, und erst Newton verdankt man die endgültige Aufklärung. Da das Prisma, das diese Erscheinung erzeugt, selbst vollkommen farblos ist, kam er zu dem Schluß, daß in dem Weiß selbst die verschiedenen Farben enthalten seien und nur durch die verschieden starke Brechung, die sie im Prisma erfahren, voneinander getrennt werden. War diese Auffassung richtig, so mußte es möglich sein, das Weiß wieder herzustellen, wenn man die Farben wieder vereinigte, was auf verschiedene Art möglich ist. Man konnte es erreichen durch ein zweites Prisma, dessen brechende Kante umgekehrt aufgestellt ist, wie die erste, oder durch eine Linse, oder durch Zurückwerfung eines umlaufenden Spiegels, der rasch hintereinander die verschiedenen Farben auf dieselbe Stelle fallen läßt.

Farbenphotographie mittels Farbfilter. Die erfahrungsgemäß bekannte Tatsache, daß sich alle Farben für unser Auge aus drei Grundfarben mischen lassen, z. B. aus Rot, Grün, Blau, wovon jede Farbe ein Drittel des Spektrums umfaßt, läßt sich in einfacher Weise zur Herstellung einer Farbenphotographie verwenden. Man braucht nur von einem Gegenstand zugleich drei Aufnahmen zu machen, hinter je einem Rot-, Grün- und Blauglase, von den drei Platten durchsichtige Diapositive herzustellen und drei Bilder durch drei Linsen auf dieselbe Stelle eines Schirmes zu entwerfen, so werden sich die Bilder in gleicher Stärke aus Farben zusammensetzen, wie der abgebildete Gegenstand. Ein solches Verfahren ist von Maxwell angegeben worden. Bei den bekannten Agfa-Platten sind die drei Farbfilter in Form vieler kleiner farbiger Scheibchen auf der photographischen Aufnahme-Platte vereinigt.

Körperfarben. Wie kommen nun die körperlichen Farben zustande, z. B. das Rot einer Rose oder eines rot gefärbten Papieres? Es geschieht dadurch, daß das rote Papier von den auffallenden Strahlen des weißen Lichtes alle verschluckt mit Ausnahme des Rot; nur Rot wirft es zurück. Diese Erklärung kann man prüfen, wenn man das rote Blatt vor einem Spektrum vorbeibewegt. Ist die Farbe rein rot, so wird das Blatt nur im roten Teil des Spektrums rot erscheinen, in allen übrigen aber schwarz. Im grünen Teil des Spektrums z. B. fällt nur Grün auf, aber diese Farbe verschluckt das Blatt. Es kann daher dort überhaupt keine Farbe zurückwerfen und erscheint somit schwarz. Ein purpurrotes Rosenblatt würde außer im Rot rot auch noch im Blauviolett blauviolett aufleuchten, weil Purpur aus Blauviolett und Rot zusammengesetzt ist.

Auch durch geeignete Mischung von drei körperlichen Farben kann man Farben aller Arten erzeugen. Aber diese Art der Mischung ist eine „subtraktive", oder abziehende, im Gegensatz zu der vorhin besprochenen „additiven". Wenn z. B. der Maler aus Gelb und Grünblau ein Grün mischt, so zwingt er das auffallende weiße Licht, sowohl durch das Gelb sein Blau zu verlieren, als durch das Grünblau sein Rot. Es bleibt daher Grün übrig. Wohlgemerkt muß man aber dabei allgemein von drei Grundfarben ausgehen, die je zwei Drittel des Spektrums umfassen. So entsteht durch „subtraktive" Mischung von Grünblau und Purpurrot das Blau, durch Mischung von Purpurrot und Gelb das Rot und durch Mischung von Gelb und Grünblau das Grün. Durch Mischung aller dreier Farbstoffe erscheint Schwarz — selbst-

verständlich, weil dann alle drei Drittel des Spektrums von den einzelnen Teilfarben weggenommen wurden.

Umwandlung der Lichtenergie in andere Energieformen. Es fragt sich dann, was aus dem verschluckten Lichte wird. Die Lichtenergie wird in irgendeine andere Energieform umgewandelt. Da sind verschiedene Fälle möglich. Der einfachste Fall ist der, daß Wärmeenergie auftritt. Um sich davon zu überzeugen, braucht man nur ein mit Ruß überzogenes Thermometer in die Sonne zu bringen und wird bemerken, daß es eine viel höhere Temperatur anzeigt, als ein nicht geschwärztes Thermometer. Ebenso ist bekannt, daß unter greller Sonnenbestrahlung ein schwarzer Rock wärmer wird als ein weißer.

Die Lichtenergie kann aber auch in solcher Weise verschluckt werden, daß sie nachher wieder in Form von Lichtenergie zum Vorschein kommt; eine solche Erscheinung nennt man Fluoreszenz oder Phosphoreszenz, je nachdem die Wiederausgabe der Lichtenergie während oder auch nach der Belichtung erfolgt.

Endlich kann die Lichtenergie in chemische Energien umgewandelt werden, wie das bei den photographischen Vorgängen der Fall ist. Auf andere Arten von Umsetzung der Lichtenergie wird später noch zurückzukommen Gelegenheit sein.

12. Elektrizität im Gleichgewicht (Elektrostatik).

Während Licht, Wärme und Schall Erscheinungen sind, für die wir besondere Sinne haben, das Auge, das Ohr und den Wärmesinn, besitzen wir für die Elektrizität keinen unmittelbaren Sinn. Die Entdeckungen auf diesem Gebiet knüpfen an eine Beobachtung an, die schon Thales von Milet um 600 v. Chr. bekannt gewesen sein soll: der Bernstein erhält beim Reiben die Eigenschaft, leichte Körperchen, wie Papierschnitzel, Wolle- oder Seidenfäden anzuziehen. Diese Beobachtung blieb aber ganz vereinzelt, bis nach über 2000 Jahren der englische Arzt Gilbert im Jahre 1600 fand, daß auch andere Körper im geriebenen Zustand die gleiche Eigenschaft zeigen wie der Bernstein, z. B. Schwefel, allerlei Harze und Glas. Die Körper verhalten sich also bernsteinartig und da der Bernstein im Griechischen „Elektron" heißt, so sagte man, daß sie in elektrischen Zustand geraten oder elektrisch werden. Bald darauf fand Otto v. Guericke, daß die leichten Körperchen zwar zuerst angezogen, nachher aber abgestoßen werden und ferner, daß sich der elektrische Zustand durch Fäden aus Metall oder Leinen übertragen läßt, dagegen nicht durch Seidenfäden. Er war also der Entdecker der elektrischen Leitung, und je nach ihrem Verhalten kann man die Körper als gute, mittlere und schlechte Leiter oder Isolatoren bezeichnen.

Eine wichtige Entdeckung machte Dufay 1733, indem er feststellte, daß es zweierlei Arten von elektrischen Körpern gibt, solche, die sich wie Glas verhalten und solche, die sich verhalten wie Siegellack. Die gleichartigen Körper stoßen einander ab, die ungleichartigen ziehen einander an. Nun erwiesen sich zwei Körper, die miteinander gerieben werden, stets entgegengesetzt elektrisch, und da sie, bevor man sie trennt, nach außen wirkungslos bleiben, so verhalten sie sich wie positive und negative Größen, die im gleichen Betrage zusammengenommen, den Betrag Null ergeben. Das ist der Grund, weshalb man das Recht hat, von positiven und negativen

Ladungen zu sprechen. Welche Art man positiv nennen will, war Sache der Übereinkunft. Man entschied sich damals dafür, die Glaselektrizität positiv zu nennen und die Harzelektrizität negativ.

Wie kommt es aber, daß unelektrische Körper von elektrischen angezogen werden? Um das zu erklären, muß man annehmen, daß in jedem Körper beide Arten von Elektrizität in gleicher Menge gemischt vorkommen und nun unter dem Einfluß des angenäherten elektrischen Körpers getrennt werden. Ist dieser positiv, so wird die negative Ladung zu ihm hin-, die positive von ihm weggezogen, und es überwiegt daher die Anziehung. Kommt nun der bisher unelektrische Körper durch die Anziehung in Berührung mit elektrischen, so nimmt er dessen Ladung an und wird daher wieder abgestoßen; und das ist die Erklärung der von Guericke entdeckten Erscheinung.

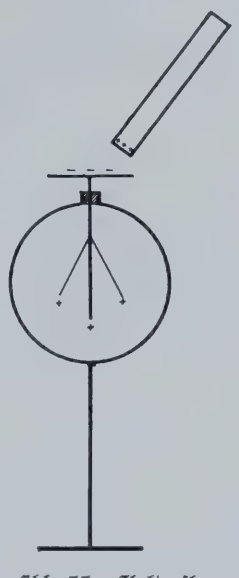


Abb. 53. Elektroskop.

Die Trennung der Elektrizitäten unter dem Einfluß eines geladenen Körpers nennt man Influenz, d. h. soviel als durch äußeren Einfluß bewirkte Trennung der Elektrizitäten.

Das Elektroskop. Die Erscheinung der Influenz kann man dazu benutzen, elektrische Ladungen oder elektrische Kräfte nachzuweisen. Zu diesem Zwecke stellt man (Abb. 53) einen kleinen Teller isoliert auf, läßt von ihm aus eine Stange nach unten gehen, an deren Enden zwei leichte Blättchen, z. B. aus Aluminium angebracht sind. Die Stange führt man isoliert durch eine zylindrische Hülle, die auf einem Ständer angebracht ist. Zwei Glasscheiben zu beiden Seiten des Zylinders gestatten die Durchsicht. Bringt man nun einen z. B. positiv geladenen Körper in die Nähe des Elektroskops, so wird die negative Elektrizität zu dem Teller hingezogen, während die positive Ladung zu den Blättchen geht und sie zum Auseinanderspreizen veranlaßt. Geht man mit dem geladenen Körper wieder weg, so gleichen sich die Ladungen wieder aus, und die Blättchen fallen zusammen. Hat man aber das Elektroskop während der Annäherung des elektrischen Körpers abgeleitet, so wird die positive Elektrizität abfließen und die negative zurückbleiben. Entfernt man jetzt den positiv geladenen Körper, so gehen die Blättchen wieder auseinander unter dem Einfluß der negativen Ladung. Mit diesem Instrument ist jetzt leicht nachzuweisen, ob ein angenäherter Körper positiv oder negativ geladen ist. Der positiv geladene Körper wird eine positive Influenzelektrizität in die Blättchen schicken und sie zum Zusammenfallen bringen, der negativ geladene aber sie noch stärker negativ aufladen und sie veranlassen, noch weiter auseinander zu gehen. Ein Auseinandergehen der Blättchen bedeutet also die Anwesenheit eines negativen, ihr Zusammenfallen die Anwesenheit eines positiv geladenen Körpers.

Das Gesetz, nach dem die elektrisch geladenen Körper aufeinander einwirken, wurde von Coulomb entdeckt. Er hing zwei isolierte Metallkugeln auf, die eine feststehend, die andere an einem kleinen wagrechten Balken, der an einem Draht aufgehängt war. Nach der Ladung des feststehenden Körpers wird der andere erst

angezogen, dann abgestoßen. Durch Drehung des oberen Endes des Aufhängedrahtes kann die Entfernung der beiden Körper geändert und durch den Grad der Torsion die Kraft gemessen werden. Auf diese Weise stellte Coulomb fest, daß bei doppelter Entfernung die Kraft auf den vierten Teil herabgeht, allgemein also, daß die Kraft umgekehrt verhältig ist dem Quadrat der Entfernung.

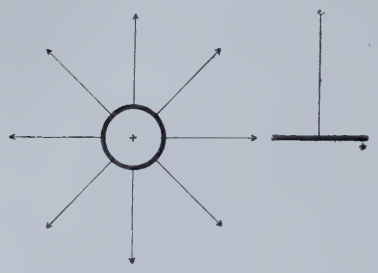


Abb. 54. Elektrische Kraftlinien.

Zwei Körper, die im gleichen Abstand die gleiche Wirkung auf irgendeinen dritten Körper zeigen, nennt man gleich stark elektrisch, oder man sagt auch, ihre Elektrizitätsmengen seien gleich groß. Läßt man zwei gleiche Elektrizitätsmengen zugleich auf einen dritten Körper einwirken, so ergibt sich, daß die Kraft doppelt so groß wird. So gelangt man zu dem allgemeinen Gesetz, wonach die Kraft, die zwei elektrische Ladungen aufeinander ausüben, im Verhältnis der Ladungen und im umgekehrten Verhältnis des Quadrats der Entfernung steht. Das ist das Coulombsche Gesetz. Es ermöglicht zugleich eine Einheit der Elektrizitätsmenge festzulegen, indem man sagt, die Einheit liegt dann vor, wenn zwei im obigen Sinne „gleich" stark geladene Körper im Abstand 1 die Kraft 1 aufeinander

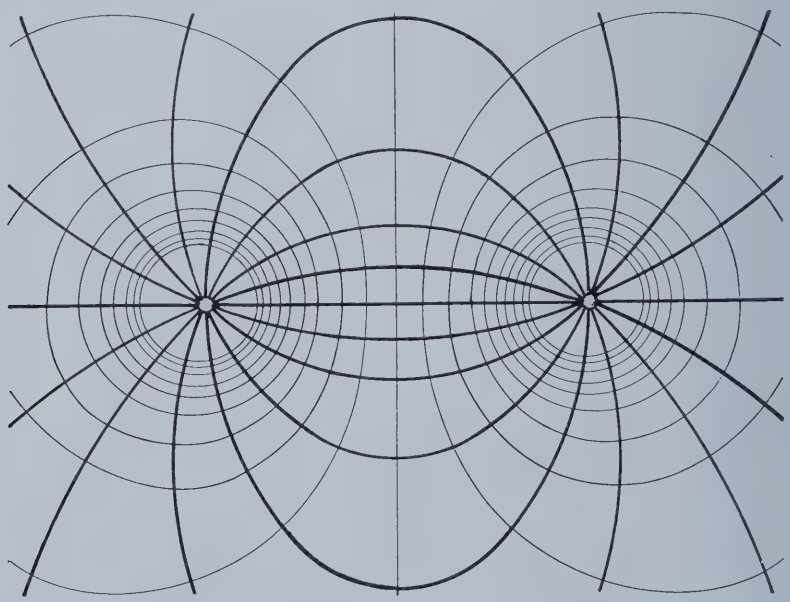


Abb. 55. Kraftlinien (stark) und Linien gleichen Potentials (schwach) für das Kraftfeld zweier entgegengesetzt gleicher Pole.

ausüben. Man nennt das die Einheit der Elektrizitätsmenge in der „elektrostatischen Maßordnung". Auf die Einzelheiten der Festlegung der elektrischen Einheiten soll später genauer eingegangen werden (vgl. § 17, „Die absolute Maßordnung").

Um sich nun in den elektrischen Erscheinungen besser zurecht zu finden, hat man zwei Begriffe eingeführt, die von außerordentlichem Vorteil sind. Der eine ist

der Begriff der elektrischen Kraftlinien (Faraday), unter denen man Linien versteht, die in jedem ihrer Punkte die Richtung der elektrischen Kraft angeben. Man kann sie veranschaulichen durch ein Strohhälmchen, das man an einem Seidenfaden aufgehängt in einen Raum bringt, der elektrischen Kräften ausgesetzt ist. Einen solchen Raum nennt man ein elektrisches Feld. Durch Influenz wird nun auch das Strohhälmchen geladen und so wie Abb. 54 angibt, die Richtung der elektrischen Kraft festgestellt.

Darüber hinaus lassen die Kraftlinien durch die „Dichte" ihres Verlaufs auch die Stärke des elektrischen Feldes erkennen, d. h. die Kraft, die auf einen Pol 1 ausgeübt wird. Zwei gleich große elektrische Ladungen entgegengesetzter Art erzeugen ein Kraftfeld, dessen Kraftlinien durch die starken Linien in Abb. 55 angedeutet sind.

Der zweite Begriff, der für die Darstellung des Feldes wichtig ist, lehnt sich an die Darstellung des Schwerefeldes an. Dieses pflegt man durch Niveauflächen, d. h. Flächen gleicher Höhe, darzustellen, die in gleichem Abstand voneinander stehen. Auf diese Weise kann man einen Berg sehr anschaulich auf der Karte wiedergeben. Man schneidet seine Oberfläche durch waagrechte Flächen, die beispielsweise im Abstand von je 100 m voneinander liegen (s. Abb. 56). Die Schnittlinien, seine „Niveaulinien" oder Höhenlinien projiziert oder wirft man dann auf die Erdoberfläche, wie der untere Teil der Abbildung darstellt. Liegen die Niveaulinien nahe an einander, so heißt das, daß der Berg an dieser Stelle steil ist (in der Abbildung links), liegen sie weiter auseinander (im Bilde rechts), so ist der Berg an dieser Stelle weniger steil.

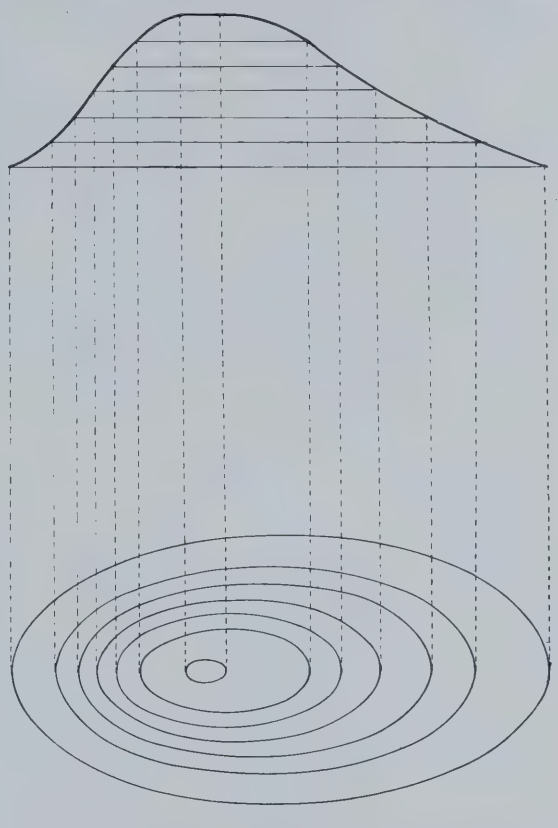


Abb. 56. Darstellung eines Berges durch Niveau- und Höhenlinien.

Nun kann man die Niveaulinien kennzeichnen durch die Arbeit, die man nötig hat, um eine Gewichtseinheit auf ihre Höhe zu bringen.

Ebensogut, wie man nun von Schwereniveauflächen sprechen kann, vermag man auch von elektrischen Niveauflächen, d. h. von Flächen gleicher „elektrischen Höhe" zu reden. Auch sie kann man kennzeichnen durch die Arbeit, die man nötig hat, um die elektrische Menge 1 aus einer gewissen Anfangslage in die Endlage zu bringen. Die Anfangslage verlegt man an eine Stelle, wo die Kraft Null ist; also wenn die

Ladungen sich nur im Endlichen befinden, so verlegt man den Anfangspunkt ins Unendliche, wo dann die Kraft Null wird.

Die Arbeit, die man nötig hat, um die elektrische Menge 1 aus dem Unendlichen an den betrachteten Punkt hinzubringen, nennt man die elektrische Niveauhöhe oder das elektrische „Potential".

Die Arbeit, die man nötig hat, um die Elektrizitätsmenge 1 aus dem Unendlichen in den Abstand r von einer Ladung ε zu bringen, wird durch den einfachen Ausdruck ε/r dargestellt, das ist also zugleich das Potential oder die elektrische Höhe an dieser Stelle.

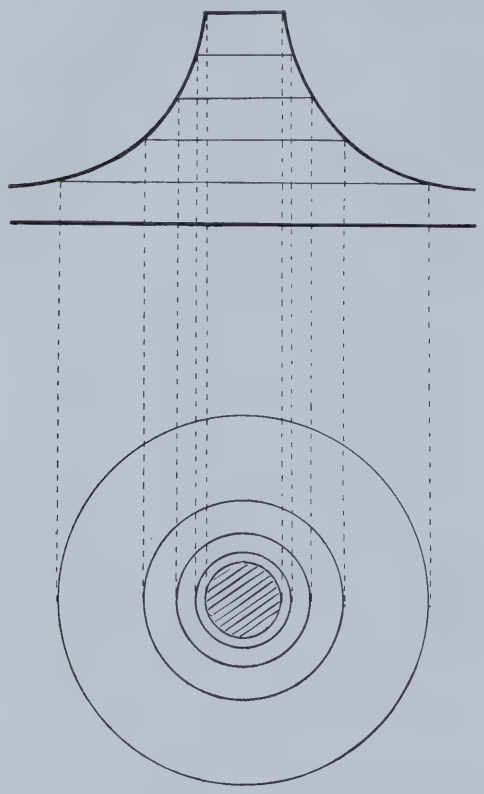


Abb. 57. Flächen und Linien gleicher elektrischer Höhe oder gleichen Potentials in der Nähe einer geladenen Kugel (gestrichelt).

Trägt man für diesen Fall die Niveauhöhen senkrecht zu einer Ebene auf, in der man das Potential darstellen will, und schneidet die entstehende Fläche wieder durch gleichweit von einander abstehende Ebenen, so erhält man eine Darstellung wie sie der obere Teil der Abb. 57 zeigt.

Projiziert man wieder die so entstehenden Niveaulinien auf die Ebene, so erhält man den unteren Teil der Abbildung. Auch hier erkennt man an der nahen Zusammendrängung der Niveaulinien die größere Kraft, wie sie in der Nähe der elektrischen Ladung vorliegt. Liegen zwei Pole gleicher Stärke und entgegengesetzter Ladung vor, so erhält man Niveaulinien, die in den schwach ausgezeichneten Linien in Abb. 55 wiedergegeben sind.

Besonders wichtig ist die Benutzung des Potentialbegriffes bei Leitern. Auf einer leitenden Fläche muß nämlich das Potential überall das gleiche sein, solange sich die Elektrizität im Ruhezustand befindet.

Im Hohlraum eines Leiters, in dem keine Ladungen vorhanden sind, ist die Kraft Null. Denn wäre eine Kraft vorhanden, so müßte sie sich als Kraftlinie fortsetzen und irgendwo endigen. Sie müßte also, da sie im freien Raume nicht endigen kann, was ja eine Ladung voraussetzen würde, auf der Fläche selbst endigen (Abb. 58). Würde man nun vom Endpunkt B bis zum Anfangspunkt A der Kraftlinie fortschreiten, so würde dabei eine Arbeit zu leisten sein. Es würde also zwischen B und A ein Potentialunterschied bestehen, der nach der Voraussetzung nicht bestehen soll. In solch einfacher Weise kann man also beweisen, daß im Hohlraum eines Leiters, in dem sich keine Ladungen befinden, überall die Kraft Null, d. h. das Potential dasselbe sein muß wie auf dem Leiter selbst.

Wenn nun auch das Potential eines Leiters an allen Punkten dasselbe ist, so bedeutet das nicht, daß auch die Dichte der Ladung dieselbe sei, wenn man den Körper geladen hat. Hat der Leiter vorspringende Ecken, so wird vermöge der Abstoßung der gleichnamigen Elektrizitäten sich die Ladung besonders stark an den Spitzen zusammendrängen und das kann so weit führen, daß die Isolation der Luft nicht mehr ausreicht und sich die Elektrizität durch die Spitzen an die Luft entlädt.

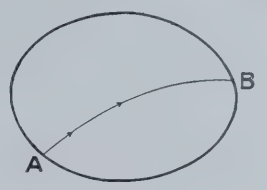


Abb. 58. Beweis für das Fehlen der elektrischen Kraft im ladungsfreien Hohlraum eines Leiters.

Bringt man umgekehrt an einen bisher nicht geladenen, mit Spitzen versehenen Leiter einen etwa positiv elektrischen Körper, so wird die negative Influenzelektrizität aus den Spitzen entweichen und der Körper sich positiv aufladen.

Dieses Verfahren benutzt man bei der Reibungselektrisiermaschine. Dieser Maschine, deren Erfindung auf Guericke zurückgeht, gibt man heute gewöhnlich die Form einer um eine Achse drehbaren Glasscheibe G (Abb. 59), die zwischen amalgamierten Lederkissen, dem Reibzeug R, vorbeigedreht wird und sich dabei positiv auflädt. Ein Spitzenkamm S fängt dann die Ladung auf und führt sie zum Sammler oder Konduktor K, von dem man dann die Ladung zu Versuchen entnehmen kann.

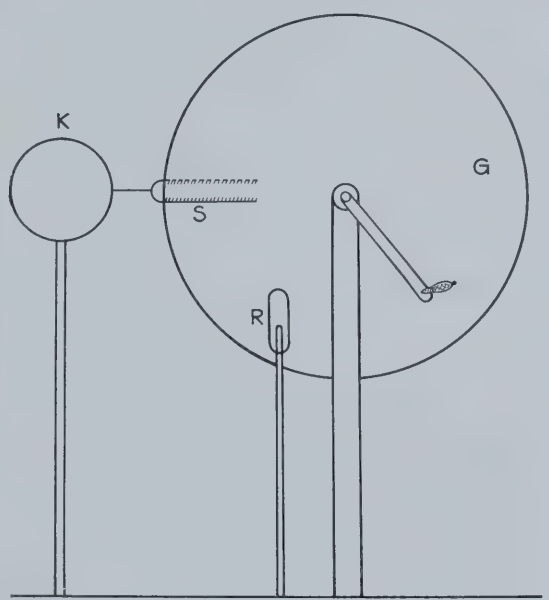


Abb. 59. Anordnung einer Reibungselektrisiermaschine.
G = Glasplatte R = Reibzeug
S = Saugkamm K = Konduktor

Zweckmäßiger erzeugt man Elektrizität mit der Influenzmaschine, auf deren Beschreibung aber hier verzichtet werde.

Dagegen ist es wichtig, sich darüber klar zu werden, wie man Elektrizität in großen Mengen anhäufen kann. Die Aufnahmefähigkeit eines Körpers für Elektrizität bezeichnet man als seine Kapazität, und zwar versteht man darunter diejenige Ladung, die er annimmt, wenn er bis zum Potential 1 aufgeladen ist.

Es ist leicht, die Kapazität einer Kugel anzugeben. Sie wirkt nach außen so, als ob die ganze Ladung im Mittelpunkt vereinigt wäre. In der elektrostatischen Maßordnung ist die Einheit der Kapazität das Zentimeter, d. h. eine Kugel von 1 cm Halbmesser hat die Kapazität 1. Um die Kapazität 100 herzustellen, brauchte man also schon eine Kugel von 1 m Halbmesser.

Zweckmäßiger verfährt man in folgender Weise. Man nimmt zwei Platten, etwa zwei Kreisplatten, die einander in einem gewissen Abstand gegenüberstehen.

Die eine davon wird geladen, die andere zur Erde abgeleitet. Da nun die Kraftlinien zwischen beiden Platten senkrecht dazu verlaufen, so wird bei gegebener Ladung die Zahl der Kraftlinien, die durch die Flächeneinheit hindurchgeht, also die Feldstärke dieselbe bleiben, wie groß man auch den Abstand der beiden Platten macht, die Arbeit dabei, also das Potential muß daher mit dem Abstand zunehmen. Bei kleinerem Abstand wird deshalb das Potential verhältnismäßig gering sein, d. h. man wird eine große Ladung verwenden dürfen, um ein bestimmtes Potential zu erreichen, d. h. die Aufnahmefähigkeit oder die Kapazität der Platten wird dann verhältnismäßig groß sein. Am bequemsten verfährt man also so, daß man eine Glasplatte nimmt, die man auf beiden Seiten mit Stanniol belegt (Franklinsche Tafel), oder man denkt sich die Glasplatten umgebogen zu einer Flasche und erhält die Kleistsche oder Leydener Flasche. Leydener Flaschen von etwa 30 cm Höhe und einem Durchmesser von etwa 15 cm können mit Leichtigkeit eine Kapazität von etwa 1000 cm erreichen, d. h. die gleiche Kapazität wie eine Kugel von 20 m Durchmesser. Eine solche Flasche nennt man einen Verdichter der Elektrizität oder einen Kondensator.

13. Magnetismus.

Ebenso wie die elektrischen, so sind auch die magnetischen Grunderscheinungen Thales von Milet bekannt gewesen. In der Nähe von Magnesia findet sich ein Stein, der die merkwürdige Eigenschaft zeigt, kleine Eisendrähte oder Eisenfeile anzuziehen. Der Stein wird Magneteisenstein genannt, und nach ihm werden alle Körper, die wie er die Eigenschaft besitzen, weiches Eisen anzuziehen, magnetisch genannt. Streicht man eine Stahlnadel an diesem natürlichen Magneten, so wird der Stahl selbst zum Magneten. Hängt man die Nadel an einem Faden auf oder setzt sie auf eine Spitze, nachdem man zuvor in ihrer Mitte eine Vertiefung angebracht hat, so stellt sich die Nadel annähernd in Nordsüdrichtung ein. Das nach Norden gerichtete Ende nennt man ihren Nordpol, das nach Süden gerichtete Ende den Südpol. Bringt man nun eine zweite magnetisierte Nadel in die Nähe, so stoßen die Nordpole einander ab und ebenso die Südpole, während Nord- und Südpol einander anziehen.

Man hat hier also dasselbe Verhältnis wie zwischen positiver und negativer Elektrizität und bezeichnet daher auch gelegentlich den Nordpol als positiv und den Südpol als negativ magnetisch. Auch für diese Pole gilt das Coulombsche Gesetz. Man sagt, daß zwei Pole gleiche magnetische Masse haben, wenn sie die gleiche Kraft nach außen ausüben, und es gilt auch hier das Gesetz, daß die Kraft zwischen zwei magnetischen Massen im umgekehrten Verhältnis des Quadrats ihres Abstandes steht.

Will man die Tatsache erklären, daß der Magnet unmagnetisches Eisen anzieht, so muß man zu einer gleichartigen Erklärung greifen, wie sie bei der Erklärung der Influenzelektrizität besprochen wurde. Man nimmt an, daß das unmagnetische Eisen Nord- und Südpol in sich vereinigt habe, die bei der Annäherung eines Magneten voneinander getrennt werden, so daß jetzt der angenäherte Nordpol in seiner Nähe einen Südpol, in der Entfernung einen Nordpol erzeugt; es wird daher die Anziehung überwiegen. Man nennt diese Art des Magnetismus den „induzierten"

Magnetismus. Bei weichem Eisen verschwindet er, sobald der magnetisierende Körper wieder entfernt wird.

Um die Erscheinung des dauernden oder permanenten und des induzierten Magnetismus zu verstehen, hat man die Annahme eingeführt, daß im Eisen kleine Grund- oder Elementarmagneten in unregelmäßiger Lagerung enthalten sind, die nach außen zunächst keine Wirkung ausüben. Sobald nun aber durch einen angenäherten Magneten eine richtende Kraft auftritt, stellen sich die Elementarmagnete ein und behalten bei dem Stahl ihre Lage angenähert bei, während sie beim weichen Eisen in die Ausgangslage zurückkehren, sobald der Magnet wieder entfernt wird. Sieht man genauer zu, so stellt sich heraus, daß die geschilderten Fälle nur Grenzfälle darstellen und daß beim Stahl nur ein bedeutend stärkerer Magnetismus zurückbleibt als beim weichen Eisen; den dort zurückbleibenden Magnetismus nennt man „remanenten Magnetismus".

Die Elementarmagnete und daher auch die ganzen Magnete enthalten stets gleich viel positiven und negativen Magnetismus.

Ein künstlicher Magnetstab verhält sich nach außen so, als ob in gewissen Punkten, nahe den Enden des Magneten der Nordmagnetismus bzw. der Südmagnetismus vereinigt wäre. In der Mitte verhält sich der Magnet unmagnetisch. Die Gesamtwirkung nach außen ist also noch bedingt durch den Abstand der beiden Pole, so daß in allen Erscheinungen nur das Vielfache dieses Abstandes und der Größe des Magnetismus der Pole eingeht. Dieses Produkt nennt man das „magnetische Moment" des Stabes.

Da ein freihängender Magnetstab sich annähernd in die Richtung des Meridians einstellt, so muß man annehmen, daß auch die Erde wie ein Magnet wirkt, der in der Nähe des geographischen Nordpols seinen magnetischen Südpol hat und in der Nähe des geographischen Südpols den magnetischen Nordpol. In Wirklichkeit liegen die magnetischen Pole um mehrere Grade von den geographischen Polen entfernt.

14. Galvanische Elemente und elektrische Ströme.

Einen neuen Aufschwung erhielten die elektrischen Forschungen durch Galvani, der 1789 die Entdeckung machte, daß tierische Muskeln, insbesondere Froschschenkel eine Quelle der Elektrizitätserzeugung werden können; er glaubte, daß die Elektrizität im Froschschenkel selbst liege.

Dagegen gelang es Volta bald darauf auch dann Elektrizität zu erzeugen, wenn er ohne Zwischenschaltung von Froschschenkeln eine isoliert gehaltene Zinkplatte mit einer isoliert gehaltenen Kupferplatte zur Berührung brachte und die beiden dann voneinander trennte. Die Platten erwiesen sich dann entgegengesetzt elektrisch. Es entspann sich darauf ein langer wissenschaftlicher Streit zwischen den Gelehrten, und man kann heute sagen, daß in gewissem Sinn beide Recht hatten, daß nämlich sowohl der tierische Muskel eine Quelle elektrischer Erregung ist, als auch die Berührung zweier verschiedener Metalle: man spricht im letzteren Falle von Kontakt- oder Berührungselektrizität.

Volta wies nach, daß man besonders kräftige elektrische Wirkungen erzielen kann, wenn man zwei Metalle in eine leitende Flüssigkeit, wie Salzwasser, Laugen

oder Säuren eintaucht. Es stellt sich dann heraus, daß die beiden Metalle solcher Zellen dauernd elektrisch geladen sind und bei ihrer Verbindung durch einen Metalldraht eine Vereinigung der beiden Elektrizitäten also einen elektrischen Strom erzeugen, der so lange anhält, als die Metallplatten und die zwischenliegende Flüssigkeit durch den Strom noch nicht vollständig chemisch verändert worden sind.

Man kann im allgemeinen sagen, daß stets bei Berührung verschiedenartiger Körper eine elektrische Trennung eintritt. Ein dauernder elektrischer Strom kann aber nur entstehen, wenn eine leitende Flüssigkeit (Elektrolyt) sich im Stromkreis befindet. Wenn z. B. Kupfer und Zink in Schwefelsäure eingetaucht sind (Voltasche Säule), so findet man die Energiequelle in der Verbrennungswärme des Zinks, das in der Schwefelsäure zu Zinksulfat verwandelt wird.

Eine solche Zusammenstellung von zwei Metallen mit einer leitenden Flüssigkeit dazwischen nennt man ein „galvanisches Element". Die eingetauchten Platten nennt man die Pole oder Elektroden des Elements. Zwischen den Polen herrscht dauernd ein elektrischer Höhenunterschied (Niveaudifferenz) oder Spannung, die man in diesem Falle auch als „elektromotorische Kraft" bezeichnet. Auf die Einzelheiten der dabei auftretenden chemischen Vorgänge soll erst später eingegangen werden.

Daß der elektrische Strom, der in dem Verbindungsdraht der Pole des Elementes auftritt, in der Tat Energie umsetzt, erkennt man daran, daß sich der Draht durch den Strom erwärmt, ja, wenn der Strom stark genug ist, den Draht zum Glühen bringt oder sogar zum Durchbrennen. Wovon die elektrische Arbeit abhängt, ist nach dem Vorhergesagten leicht anzugeben. Die elektromotorische Kraft e bedeutet ja nichts weiter als die Arbeit, die geleistet wird, wenn die Elektrizitätsmenge 1 von einem Pol zum andern fließt. Wenn also nicht die Elektrizitätsmenge 1, sondern die Elektrizitätsmenge ε übergeht, so wird die Arbeit $\varepsilon \cdot e$ geleistet. Unter Stromstärke i versteht man dann die Elektrizitätsmenge, die in der Zeiteinheit durch den Querschnitt fließt. Es ist also die Stromstärke $i = \varepsilon/t$ oder $\varepsilon = i \cdot t$. Die von dem Strom geleistete Arbeit ist daher $\varepsilon \cdot e = i \cdot e \cdot t$. Da man nun die elektromotorische Kraft durch die Zahl der benutzten Elemente messen und die Stromarbeit durch die erzeugte Wärmemenge bestimmen kann, so ist es möglich, zu untersuchen, von welchen Größen die Stromstärke abhängt.

Da ergibt sich, wie Ohm 1827 zum erstenmal festgestellt hat, daß die Stromstärke unter sonst gleichen Umständen der elektromotorischen Kraft verhältig ist. Zwei Elemente derselben elektromotorischen Kraft erzeugen dann, hintereinander geschaltet, einen doppelt so starken elektrischen Strom, wie ein einziges. Bei gleichbleibender elektromotorischer Kraft und zunehmendem Widerstand der Leitung nimmt dagegen die Stromstärke ab. Die Sache verhält sich ganz ähnlich, wie mit einer Filterpresse. Bei doppeltem Druck, also bei doppelter Höhe der auf dem Filter lastenden Wassersäule wird man die doppelte Ausflußmenge erhalten. Nimmt man aber ein dichteres Filter, so wird sich die ausfließende Wassermenge sofort vermindern. Der Druckhöhe über dem Filter entspricht die elektrische Niveauhöhe oder elektromotorische Kraft. Der Stromstärke der Filterflüssigkeit entspricht die elektrische Stromstärke, und dem Widerstand des Filters entsprechen die Widerstände des Stromkreises. Der Widerstand eines Drahtes wächst mit seiner Länge und steht im umgekehrten Verhältnis seines Querschnitts. Außerdem hängt er von

der besonderen Art des verwendeten Stoffes ab, d. h. vom „spezifischen Widerstand". Es läßt sich dann feststellen, daß bei gleichbleibender elektromotorischer Kraft die Stromstärke auf die Hälfte abnimmt, wenn der Widerstand auf das Doppelte wächst. Das „Ohmsche Gesetz" lautet also, wenn man die Stromstärke mit i und den Widerstand mit w bezeichnet: $i = e/w$. Es ist das eins der wichtigsten Gesetze der Elektrizitätslehre und für die Elektrotechnik von grundlegender Bedeutung.

Man kann es auch so ausdrücken: Zur Aufrechterhaltung eines Stromes i in einer Leitung vom Widerstand w ist eine elektromotorische Kraft $e = i\,w$ erforderlich.

Die praktischen Einheiten, die man für diese Größen benutzt, sind aus den Einheiten der allgemeinen physikalischen Maßordnung — absolutes cm-g-sec-Maßsystem — abgeleitet und können zunächst in folgender Weise festgesetzt werden.

Die Einheit der Stromstärke, das Ampere, scheidet aus einer Silbernitratlösung in 1 Sekunde 1,118 mg Silber aus (vgl. Abschnitt 25).

Die Einheit des Widerstandes ist das Ohm. Es ist das der Widerstand einer Säule von Quecksilber bei 0^0 C, einem Querschnitt von 1 qmm und einer Länge von 106,3 cm; warum man gerade diese Länge wählt, wird in Abschnitt 17 erläutert.

Die Einheit der Spannung oder der elektromotorischen Kraft ist das Volt. Sie ist so gewählt, daß sie im Stromkreis von 1 Ohm Widerstand einen Strom von 1 Ampere erzeugt. Es ist das ungefähr die elektromotorische Kraft eines Daniell-Elementes, das aus einem Kupferpol in Kupfersulfatlösung und einem Zinkpol in Zinksulfat besteht, wobei beide Lösungen durch eine poröse Wand getrennt sind.

Nach dem Ohmschen Gesetz kann man nun auch sagen: Amperezahl gleich Voltzahl geteilt durch Ohmzahl.

Als Einheit der Elektrizitätsmenge benutzt man das Coulomb, d. i. die von 1 Ampere in 1 Sekunde durch den Querschnitt einer Stromleitung geschickte Elektrizitätsmenge.

Die Einheit der elektrischen Arbeit ist, nach dem was wir vorher sahen, gegeben durch das Vielfache der Elektrizitätsmenge und der Spannung, also durch 1 Volt-Coulomb.

Die Einheit der elektrischen Leistung liegt vor, wenn diese Arbeit in der Zeiteinheit geleistet wird, d. h. 1 Volt-Coulomb in 1 Sekunde; statt dessen kann man auch sagen 1 Volt-Ampere. Diese Leistung nennt man auch 1 Watt. Das Tausendfache davon nennt man ein Kilowatt. Wer im Hause eine eigene elektrische Anlage besitzt, weiß, daß er den Stromverbrauch nach der Anzahl der Kilowattstunden bezahlen muß. Es ist also die elektrische Arbeit, die das Maß der Abgabe bildet.

Da man nach dem Ohmschen Gesetz die Spannung e auch durch das Vielfache von Stromstärke und Widerstand $i \cdot w$ ausdrücken kann, so kann man die elektrische Leistung $i \cdot e$ auch ausdrücken durch das Vielfache des Widerstandes und des Quadrats der Stromstärke $i^2 w$. Die dabei geleistete Arbeit wird in dem Leitungswiderstand in Wärme umgesetzt. Die erzeugte Wärme wächst also mit dem Widerstand und, was wichtig ist zu beachten, mit dem Quadrat der Stromstärke: Joules Gesetz.

15. Elektromagnetismus.

Lange Zeit standen die Erscheinungen der Elektrizität und des Magnetismus unvermittelt nebeneinander. Da entdeckte Oersted im Jahre 1820, daß von dem elektrischen Strom auch magnetische Kräfte ausgehen. Wenn man einen Draht gleichlaufend über eine Magnetnadel führt und nun durch den Draht einen Strom schickt, so erfährt die Magnetnadel eine Ablenkung nach einer Regel, die Ampère angegeben hat und die so lautet: Denkt man sich selbst im Draht mit dem Strom schwimmend und blickt auf den Nordpol der Nadel, so wird sie in Richtung des ausgestreckten linken Armes abgelenkt.

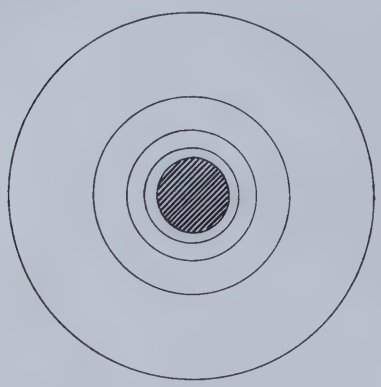


Abb. 60. Magnetische Kraftlinien um einen stromdurchflossenen geradlinigen Draht. Der schwarze Kreis in der Mitte zeigt den Querschnitt des Drahtes, der senkrecht zur Zeichenebene angebracht zu denken ist.

Das war eine außerordentlich wichtige Entdeckung, denn damit war ein inniger Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus gefunden, der im Verlauf der Zeit zu weiteren ungeahnten Entdeckungen Anlaß gab.

Führt man nun einen Draht senkrecht durch eine waagrecht ausgebreitete weiße Pappe und stellt darauf eine beweglich angebrachte Magnetnadel, so wird sie sich, wenn der Strom stark genug ist, überall nahe senkrecht zur Verbindungslinie des Mittelpunktes der Nadel mit der Strombahn einstellen, d. h. die magnetischen Kraftlinien müssen in Kreisen um den elektrischen Strom herumgehen. Man kann sie sichtbar machen, indem man Eisenfeilspäne auf die Pappe streut, die sich dann in Kreisen um den Draht herumlegen (Abb. 60).

Gibt man dem Draht die Form eines in lotrechter Ebene liegenden Kreises (siehe Abb. 61), in dessen Mitte eine kleine Magnetnadel über einem wagrechten Teilkreis spielt (Bussole), so wird sie sich senkrecht zur Ebene des Stromkreises einzustellen suchen. Nahm diese Ebene vor Einschaltung des Stromes die nach Norden gerichtete Bussolennadel auf, so wird sie sich nach einer Einschaltung so weit um einen Winkel α drehen, bis das Drehmoment der Stromwirkung dem rücktreibenden Drehmoment des Erdmagnetismus gleichkommt. Es stellt sich dann $\operatorname{tg} \alpha$ der Stromstärke verhältig heraus. Die Vorrichtung wird daher als Tangentenbussole bezeichnet und gestattet die Stromstärke zu messen.

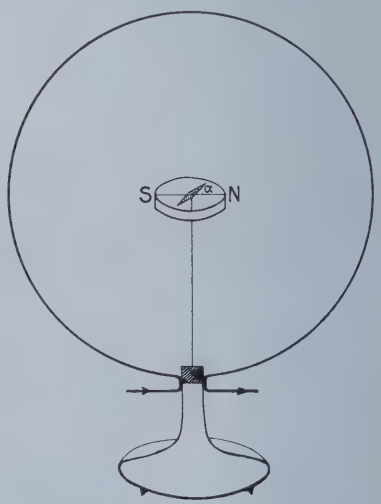


Abb. 61. Tangentenbussole.

Kommt es darauf an, ein möglichst empfindliches strommessendes Gerät zu erhalten, so wird man statt einer Drahtwindung deren möglichst viele verwenden und damit in möglichste Nachbarschaft der Magnetnadel heranrücken. Geräte solcher Art nennt man Galvanometer. Das empfindlichste Galvanometer solcher Art wurde neuerdings von Paschen gebaut und gestattet noch den billionsten Teil eines Amperes zu messen.

Erzeugt nun der elektrische Strom ein magnetisches Feld, so muß er wie ein Dauermagnet die Fähigkeit haben, eine Stahlnadel zu magnetisieren. Dies wies bald nach Oersteds Entdeckung Arago nach, indem er um eine solche Nadel einen Strom in Windungen herumführte: „Solenoid". Erst etwas später entdeckte man, daß man auch weiches Eisen auf diesem Wege zu einem Magneten von ungeahnter Stärke machen könne, solange der Strom andauert. Damit war die Grundlage zum Bau von „Elektromagneten" gelegt.

Die genaueren Gesetze der Wechselwirkung zwischen Strom und Magnet haben Biot und Savart bald nach Oersteds Entdeckung festgestellt. Denkt man sich

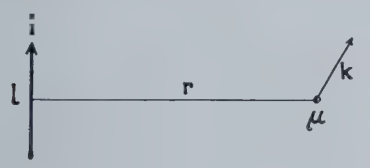


Abb. 62. Zu Biot-Savarts Gesetz.

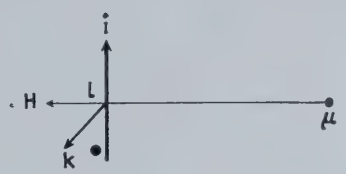


Abb. 63. Zu Biot-Savarts Gesetz.

wie auf Abb. 62 ein Stromelement von der Länge l und senkrecht dazu im Abstand r einen magnetischen Pol von der Stärke μ, so erfährt es eine Kraft k, die der Stromstärke i, der Länge des Stromelements l und der Polstärke μ verhältig ist und umgekehrt verhältig dem Quadrat der Entfernung r. Bildet die Verbindungslinie zwischen dem Stromelement und dem Pol mit ersterem einen Winkel α, so hat man noch mit dem Sinus dieses Winkels zu vervielfachen, um die Kraft k zu finden.

Dieses Gesetz gestattet wie ein Zauberstab die mannigfaltigsten Wechselwirkungen zwischen Magnet und Strom zu ersinnen und vorauszuberechnen, wenn man die bekannten Gesetze der Mechanik auf die Kraft der Wechselwirkung anwendet.

Nach dem Satz der Gleichheit von Kraft und Gegenkraft muß das Stromelement auch von dem Magnet eine Kraft erfahren, die die umgekehrte Richtung hat (Abb. 63), wie die, welche das Stromelement auf den Pol ausübt und genau von gleicher Größe. Diese Kraft ist also: $i\,l\,\mu/r^2$. Nun ist μ/r^2 die Feldstärke H, die der Pol μ an der Stelle des Stromelements besitzt.

Die Feldstärke geht aber in Richtung der Verbindungslinie r vom Pol nach dem Stromelement hin. Man kann also auch sagen, die Kraft, die das Stromelement erfährt, ist gleich dem Vielfachen der Feldstärke H, der Stromstärke i und der Länge l des Stromelements und hat eine Richtung senkrecht zum Stromelement und zur Richtung des Feldes. Man bestimmt die Richtung am besten durch eine Handregel, indem man die Handfläche senkrecht zum magnetischen Feld einstellt und die Verbindungslinie von der Handwurzel nach den Fingerspitzen in Richtung des Stromelements; dann zeigt der ausgestreckte Daumen der rechten

Hand die Richtung der Kraft an, die der elektrische Strom vom magnetischen Feld erfährt.

Wenn nun die magnetische Kraft, die ein Stromelement ausübt, von gleicher Art ist wie diejenige, die von einem magnetischen Pol ausgeht — und das muß man annehmen, wenn man sich auf Faradays Standpunkt stellt, daß die magnetische Kraft irgendeine Veränderung in dem umgebenden Raume hervorbringt —, dann muß man zu dem Schluß kommen, daß auch zwei Stromelemente Kräfte aufeinander ausüben müssen.

Die Feststellung dieser Tatsache verdankt man Ampère. Man denke sich (Abb. 64) zwei gleichgerichtete Stromelemente $i_1 l_1$ und $i_2 l_2$, die im Abstand r einander gegenüberstehen. Dann erzeugt der Strom i_1 an der Stelle von l_2 ein magnetisches Feld $H = i_1 l_1 / r^2$, das senkrecht zur Verbindungslinie r und senkrecht zu l_2 steht, also die Richtung von H hat. Dieses Feld muß nun auf das Stromelement i_2 eine Kraft ausüben, deren Richtung man findet, wenn man die Fläche der rechten Hand senkrecht zu H einstellt, die Verbindungslinie der Handwurzel nach den Fingerspitzen in die Richtung von l_2, dann zeigt der Daumen der rechten Hand in Richtung von l_2 nach l_1. Daraus folgt, daß die beiden Stromelemente einander anziehen müssen, wenn sie von gleichgerichteten Strömen durchflossen sind. Mit der Stromrichtung von i_1 muß aber auch die Feldrichtung von H sich umkehren und damit die Richtung der Kraft. Also stoßen entgegengesetzt gerichtete Ströme einander ab.

Abb. 64. Zu Biot-Savarts Gesetz.

16. Induktionsströme (durch Magnetfeldschwankungen erzeugte Ströme).

Kehren wir noch einmal zu dem Ausgangsversuch von Oersted zurück. Der Strom bringt eine Ablenkung der Magnetnadel hervor, d. h. er leistet Arbeit. Demnach muß nach dem Energiegesetz irgendwo eine andere Energie verschwinden. Als einzige solche Energie kommt in Frage die Energie des Stromes selbst, seine Stärke muß also im Augenblick der Ablenkung des Magneten abnehmen. Das Wesentliche bei der Ablenkung der Nadel ist die Veränderung des magnetischen Feldes in der Nähe des Drahtes. Daraus folgt ganz allgemein: wenn man das magnetische Feld in der Weise verändert, wie es durch die Magnetnadel geschieht, so muß ein Leiter, auch wenn vorher kein Strom in ihm floß, stromdurchflossen werden, und zwar in einem Sinne, der demjenigen entgegengesetzt ist, der die Ablenkung der Magnetnadel hätte hervorbringen können. Dabei muß es gleichgültig sein, ob das magnetische Feld durch einen Magneten oder durch einen Strom erzeugt wird. Solche Ströme nennt man Induktionsströme, d. h. durch Schwankungen des Magnetfeldes erzeugte Ströme. Sie sind 1831 von Faraday entdeckt worden.

Die Größe der dabei auftretenden elektromotorischen Kräfte kann man ohne weiteres aus dem Energiesatz ableiten.

Man denke sich (Abb. 65) gleichlaufend mit einer feststehenden Strombahn J einen Draht von der Länge l mit der Geschwindigkeit v gegen die feststehende Strom-

bahn hin verschoben. Dabei tritt also eine Veränderung der Lage der Strombahn gegen das magnetische Feld auf, und es muß somit darin ein gewisser Strom i induziert werden, der J entgegengesetzt gerichtet sein muß. Denn nur in diesem Fall erfährt die bewegte Strombahn eine abstoßende Kraft, gegen die sie eine Arbeit leisten kann, um sie in Stromenergie umzusetzen.

Diese Arbeit ist wieder Kraft mal Weg. Die Kraft ist nach dem Früheren $i \cdot l \cdot H$, wenn H die Größe des magnetischen Feldes darstellt, das der Strom J erzeugt. Der Weg in der Zeiteinheit ist v, folglich ist die in der Zeiteinheit geleistete Arbeit $i \cdot l \cdot H \cdot v$. Sie muß nach dem Energiegesetz sein gleich der in der Zeiteinheit erzeugten Stromarbeit $i \cdot e$, d. h. es muß sein $i \cdot e = i\, l\, H\, v$ oder $e = l\, v\, H$, und das ist das Neumannsche Grundgesetz der Induktion.

Man kann seinen Inhalt sehr anschaulich mit Hilfe der Faradayschen Kraftlinien darstellen. Danach bedeutet H die Zahl der Kraftlinien, die durch die Flächeneinheit hindurchtreten. $v \cdot l \cdot H$ stellt also die Zahl der Kraftlinien dar, die das Stromstück durchschnitten hat, d. h. die induzierte elektromagnetische Kraft ist gleich der Zahl der Kraftlinien, die es in der Zeiteinheit durchschnitten hat.

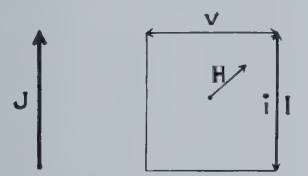


Abb. 65. Zur Ableitung des Induktionsgesetzes.

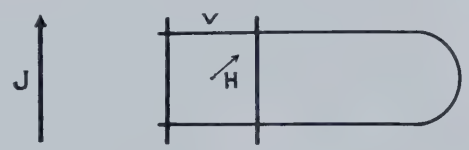


Abb. 66. Zur Ableitung des Induktionsgesetzes.

Nun kann man sich das Stromstück auch vorstellen als Teil einer geschlossenen Strombahn (Abb. 66). Dann stellt die von dem beweglichen Stromstück durchstrichene Fläche zugleich die Zunahme der Fläche dar, die die Strombahn umschließt, und man kann daher auch sagen, die induzierte elektromotorische Kraft ist gleich der Zahl von magnetischen Kraftlinien, die in der Zeiteinheit neu durch die Stromfläche hindurchgetreten sind. Es stellt sich heraus, daß es gleichgültig ist, auf welche Weise diese Zunahme zustande kommt. Die Stromfläche kann auch festliegen, und es kann durch Annäherung eines fremden Stromes oder eines Magneten die Zahl der Kraftlinien zugenommen haben.

Damit haben wir die allgemeinsten Formen kennengelernt, die man dem Induktionsgesetz geben kann.

Von Wichtigkeit ist noch eine andere Regel, die sich auf die Richtung der mechanischen Kraft bezieht, die ein im Felde bewegtes Stromstück erfährt. Sie muß stets eine solche sein, daß sie der Bewegung des Stromstücks entgegenwirkt (Lenzsches Gesetz). Ebenso muß das magnetische Feld, das der induzierte Strom erzeugt, stets die entgegengesetzte Richtung haben, wie dasjenige, das den Induktionsstrom hervorgebracht hat.

Nach diesen allgemeinen Regeln wird man die folgenden Versuche ohne weiteres verstehen können. Man verbinde eine Stromspule mit einem Galvanometer. Führt man in die Spule einen Magneten ein, so zeigt es einen Induktionsstrom an, da neue magnetische Kraftlinien durch die Spule hindurchgetreten sind. Nähert man

dieser ersten Spule statt des Magneten eine zweite stromdurchflossene Spule, so muß auch ein Induktionsstrom entstehen, der dem in der angenäherten Spule fließenden Dauerstrom entgegengesetzt gerichtet ist, da auch jetzt neue Kraftlinien durch die Spule hindurchgetreten sind. Entfernt man die Spule wieder, so muß ein Strom im entgegengesetzten Sinn wie früher, d. h. gleichgerichtet mit dem in der zweiten Spule entstehen.

Man kann aber auch die zwei Spulen übereinanderstecken oder zwei umsponnene und dadurch voneinander isolierte Drähte nebeneinander auf eine Rolle aufwickeln. Sobald in der einen Spule ein Strom erzeugt wird, muß in der anderen ein entgegengesetzter Induktionsstrom entstehen. Öffnet man den ersten Strom wieder, so muß in der zweiten ein gleichgerichteter Strom entstehen. Aber diese Ströme entstehen nur im Augenblick des Öffnens und Schließens des ersten Stromes. Das ist die Form, in der Faraday die Induktionserscheinungen zum erstenmal beobachtet hat. Er hatte anfangs vermutet, daß die stromdurchflossene Spule dauernd einen Strom in der benachbarten erzeugen müsse. Das war aber nicht der Fall. Wohl aber bemerkte er, und das ist ein wesentliches Verdienst des Entdeckers, daß im Augenblick des Schließens und Öffnens in der zweiten Spule rasch vorübergehende Ströme auftreten.

Ein besonders wichtiger Apparat, der eine Anwendung der Induktionsströme darstellt, ist der Induktionsapparat oder das Induktorium. Eine erste Spule, die Primärspule, in die man zur Verstärkung des magnetischen Feldes ein Bündel Eisendraht geschoben hat, wird innerhalb einer zweiten größeren Spule (Sekundärspule) angebracht. Wenn man nun in der ersten Spule abwechselnd durch einen Unterbrecher den Strom schließt und öffnet, so müssen in der zweiten Spule abwechselnd dem ersten entgegengesetzte und gleichgerichtete Ströme auftreten.

Damit hätte man an sich noch nicht viel gewonnen. Aber nun beachte man, daß in jeder Windung der Sekundärspule durch die hindurchtretenden Kraftlinien eine gewisse elektromotorische Kraft oder Spannung auftritt. Nimmt man also nur die Zahl der Windungen in der zweiten Spule außerordentlich groß, so muß man auch außerordentlich hohe Spannungen erzeugen können, viel höher, als sie in der ersten Spule zur Verfügung stehen. Macht man also die Zahl der Windungen tausendmal so groß wie die in dem ersten Stromkreis, so erhält man, von Verlusten durch Nebenwirkungen abgesehen, rund die tausendfache Spannung, z. B. 100000 Volt statt 100 in der ersten Spule.

Nun wird man fragen, ob das nicht dem Gesetz der Erhaltung der Energie widerspricht. Die elektrische Leistung wird aber durch das Vielfache von Spannung und Stromstärke dargestellt, und es ist die Frage, ob in dem zweiten Kreis die gleiche Stromstärke wie im ersten auftreten kann. Denkt man sich nun z. B. eine Windung der Länge nach durchgespalten, so daß zwei Windungen vom halben Querschnitt aber mit doppelter Länge entstehen, so wird der Widerstand viermal so groß als vorher werden. Demnach erhält man bei doppelter Spannung nur den halben Strom. Das Vielfache aus Stromstärke und Spannung bleibt also dasselbe; wenn daher die Spannung des zweiten Kreises das Tausendfache der Spannung des ersten Kreises ist, wird die Stromstärke im zweiten Kreise höchstens ein Tausendstel der im ersten Kreise vorhandenen sein können. In Wirklichkeit wird sie etwas geringer sein, weil durch Stromwärme Arbeit verloren geht.

Die erste und zweite Spule unterscheiden sich also nur dadurch voneinander, daß die erste verhältnismäßig wenig Windungen aus starkem Draht, die zweite sehr viele Windungen aus dünnem Draht enthält; denn bei Verwendung dickeren Drahtes würde man in einem gegebenen Raum nur wenige Windungen unterbringen können.

Damit haben wir im Induktionsapparat einen ausgezeichneten Stromwandler kennengelernt; der schwachgespannten Starkstrom in hochgespannten Schwachstrom verwandelt. Selbstverständlich kann man den Apparat auch im umgekehrten Sinne verwenden, indem man hochgespannten Schwachstrom in die zweite Spule einführt und aus der ersten schwachgespannten Starkstrom entnimmt.

In dieser Weise benutzt man in der Elektrotechnik die Stromwandler oder Transformatoren, die sich von dem Induktionsapparat dadurch unterscheiden, daß die Spulen nicht auf einen gestreckten Eisenzylinder, sondern auf einen zum Kreis gebogenen, d. h. in sich geschlossenen Kern aufgewickelt sind.

17. Die absolute Maßordnung (absolutes Maßsystem).

Wir waren bisher mannigfach genötigt, von allerlei Einheiten physikalischer Größen zu sprechen. Man ist im Anschluß an die grundlegenden Untersuchungen von Gauß und Wilhelm Weber allmählich dazu gekommen, alle physikalischen Größen in einheitlicher Weise aufzubauen. Der Physiker bezieht alle abgeleiteten Einheiten auf die Grundeinheit der Länge (cm), der Zeit (sec), der Masse (g) und erhält so das „C-G-S-System".

Die Art der Abhängigkeit aller abgeleiteten Größen von den Grundgrößen bezeichnet man, wie schon erwähnt, als ihre „Dimension". Demnach liegt die Einheit der Geschwindigkeit vor, wenn ein Körper den Weg eines Zentimeters in einer Sekunde zurücklegt; die Dimension der Geschwindigkeit ist also: cm/sec.

Die Einheit der Beschleunigung liegt dann vor, wenn der Geschwindigkeitszuwachs 1 cm/sec in 1 Sekunde erreicht wird. Dimension cm/sec^2.

Die Einheit der Kraft erteilt der Masse eines Gramm die Beschleunigung 1; nach dem Gesetz „Kraft gleich Masse mal Beschleunigung" ist also die Dimension gcm/sec^2. Diese Einheit heißt 1 Dyn. Wie wir früher sahen, ist sie gleich dem 981sten Teil eines Grammgewichtes, also ungefähr 1 mg-Gewicht.

Die Einheit der Arbeit 1 Erg, wird geleistet, wenn die Kraft 1 Dyn längs 1 cm überwunden wird. Demnach enthält die technische Einheit der Arbeit von 1 kgm = $1000 \cdot 981 \cdot 100 = 9{,}81 \cdot 10^7$ Erg. Die Einheit der Leistung würde vorliegen, wenn 1 Erg in 1 Sekunde geleistet wird. Da diese Größe sehr klein ist, so hat man das Zehnmillionenfache davon als Einheit gewählt und nennt das 1 Watt, d. h. 1 Watt ist 10^7 Erg/sec.

Die technische Einheit der Leistung ist die Pferdestärke und liegt vor bei einer Arbeit von 75 kgm in 1 Sekunde. Das sind also $75 \cdot 9{,}81 \cdot 10^7$ Erg/sec; also ist 1 PS 735,5 Watt oder umgekehrt 1 Kilowatt gleich 1,36 PS.

Die Einheit der Wärmemenge war 1 gcal. Um sie zu erzeugen, braucht man 427 gm Arbeit; das sind 0,24 Watt·sec.

Auf dem Gebiete der Elektrizität lernten wir bereits die elektrostatische Maßordnung kennen. Elektrostatische Einheit der Elektrizitätsmenge war die, die auf eine gleiche im Abstand von 1 cm die Kraft 1, d. h. eines Dyn ausübt. Alle anderen elektrostatischen Maßeinheiten, z. B. der Stromstärke, lassen sich daraus ableiten gemäß den Gesetzen der Abhängigkeit von ihr.

In ähnlicher Weise kann man eine magnetische Maßordnung aufbauen auf der Einheit der magnetischen Menge, die auf eine ihr gleiche im Abstand 1 cm die Kraft 1 Dyn ausübt.

Nun kann man aber auch mit Hilfe des Biot-Savartschen Gesetzes die Stromstärke auf magnetisches Maß zurückführen, deren „elektromagnetische Einheit" ein Stromstück von 1 cm Länge auf die Einheit der magnetischen Menge im senkrechten Abstand von 1 cm die Kraft 1 ausübt. In Wirklichkeit geht man dabei von der Wirkung eines Stromes in der Tangentenbussole auf deren Magnetnadel aus.

Somit gibt es zwei Einheiten der Stromstärke, eine elektrostatische und eine elektromagnetische. Das Verhältnis ihrer Dimensionen ist aber nicht etwa eine unbenannte (reine) Verhältniszahl, sondern hat selbst auch eine Dimension, und zwar die einer Geschwindigkeit. Diese ist zum erstenmal 1856 von Wilhelm Weber und Rudolph Kohlrausch bestimmt worden und ergab sich, je genauer man messen lernte, um so genauer gleich der Lichtgeschwindigkeit. Als nun Maxwell 1861 fand, daß die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer elektromagnetischen Störung im Raum als durch das Verhältnis der elektrostatischen zur elektromagnetischen Einheit der Elektrizitätsmenge bestimmt ist, ergab sich ihm notwendigerweise die Folgerung, daß das Licht in der Ausbreitung einer elektromagnetischen Schwingung bestehen müsse. Auf die „elektromagnetische Lichttheorie" zurückzukommen, wird in Abschnitt 21 noch Gelegenheit sein.

Die früher besprochene elektrotechnische Einheit der Elektrizitätsmenge, das Coulomb, hat man der Bequemlichkeit halber gleich dem zehnten Teil der elektromagnetischen Einheit gesetzt. Da nun die elektromagnetische Einheit so viel elektrostatische umfaßt, als die in cm/sec gemessene Lichtgeschwindigkeit angibt, also $3 \cdot 10^{10}$, so ist 1 Coulomb gleich $3 \cdot 10^9$ elektrostatischen Einheiten der Elektrizitätsmenge. 1 Coulomb in 1 Sekunde bedeutet die Stromstärke von 1 Ampere. Das Volt ist dann so bestimmt, daß das Vielfache von 1 Volt und 1 Ampere 1 Watt ergibt, und das Ohm so, daß die Spannung an den beiden Enden eines Widerstandes gleich ein Ohm, durch das der Strom von 1 Amp. hindurchfließt, gleich 1 Volt wird. Vor Einführung des Ohm benutzte man als bequem herstellbare Widerstandseinheit die Siemenssche Einheit. Das ist der Widerstand, den eine Quecksilbersäule von 0^0, 1 qmm Querschnitt und 100 cm Länge besitzt. Die Messungen ergaben dann, daß das Ohm das 1,063fache der Siemensschen Einheit ist. Auf diese Weise erklärt sich die im Abschnitt 14 angegebene merkwürdige Zahl.

Die Einheit des elektrischen Fassungsvermögens oder der Kapazität liegt vor, wenn ein Kondensator bei 1 Volt Spannung die Elektrizitätsmenge von 1 Coulomb aufnehmen kann. Diese Einheit nennt man das Farad. Da diese Größe beim Gebrauch meist unbequem groß erscheint, benutzt man gewöhnlich den millionsten Teil davon, das Mikrofarad. Es ergibt sich dann, daß 1 Mikrofarad $9 \cdot 10^5$ elektrostatische Einheiten umfaßt.

Endlich ist noch auf eine bei den Erscheinungen der Induktion wichtige Größe einzugehen.

Wir hatten gesehen, daß die in einer Spule induzierte Spannung von der Geschwindigkeit der Änderung des magnetischen Feldes abhängt, das durch sie hindurchgeht. Wenn nun das Feld durch den Strom einer zweiten Spule hervorgebracht wird, so wird die induzierte Spannung auch von der Geschwindigkeit abhängen, mit der dieser Strom sich ändert; diese Spannung wird also auch von der Art der Spulen selbst abhängen, wächst sie doch mit der Zahl ihrer Windungen. Diese Eigenschaft der Spulen mißt man durch ihren „Induktionskoeffizienten". Man könnte ihn als das Maß der Erregungsfähigkeit der Spulen durch Stromstärkeschwankungen bezeichnen. Als Einheit der Induktion benutzt man diejenige, bei der durch die Änderung der Stromstärke von 1 Ampere in 1 Sekunde die Spannung von 1 Volt erzeugt wird. Man nennt sie 1 Henry.

Nun ist es nicht nötig, daß das Feld einer Spule durch den Strom einer anderen Spule geändert wird, es kann auch durch den in ihr selbst fließenden Strom geändert werden. In diesem Falle spricht man von Selbstinduktion, d. h. Selbsterregung. Auch hier benutzt man als Einheit des „Selbstinduktionskoeffizienten" das Henry. Die Begriffsbestimmung ist im übrigen dieselbe wie bei dem „Koeffizienten der wechselseitigen Induktion".

II. Schwingungen und Wellen.

18. Schwingende Bewegung (mechanische Schwingung).

Schwingungsartige Vorgänge spielen auf allen Gebieten der Physik eine außerordentlich wichtige Rolle, und so erscheint es angezeigt, diese Schwingungen von einem allgemeinen Gesichtspunkt aus zu betrachten.

Einfache Pendelschwingungen wurden bereits früher beschrieben. Wenn man eine an einem Faden aufgehängte Kugel aus der Gleichgewichtslage seitlich entfernt und losläßt, so führt sie um die Gleichgewichtslage herum Schwingungen aus. Man kann den Vorgang so darstellen, daß man sagt, es handle sich um eine fortwährende Umwandlung der Energie der Lage in Bewegungsenergie und umgekehrt. Hat man das Pendel aus der Gleichgewichtslage entfernt, so hat man es zugleich gehoben und man hat damit Energie der Lage hervorgebracht. Beim Bestreben, die tiefste Lage aufzusuchen, wird aber die Energie der Lage in Bewegungsenergie umgesetzt und diese erzeugt wieder Energie der Lage, indem das Pendel auf der anderen Seite ungefähr zur gleichen Höhe wieder ansteigt, von der es herabgekommen ist. Es würde genau die gleiche Höhe wieder erreichen, wenn nicht durch Reibung mechanische Energie verloren ginge. Wenn man diese Energie regelmäßig ersetzt, wie z. B. bei der Pendeluhr, so hat man es mit einer ungedämpften Schwingung zu tun, die immerzu andauert. Ersetzt man die verlorene Energie aber nicht, so wird der Ausschlag allmählich abnehmen, bis nach längerer Zeit das Pendel zur Ruhe kommt. Jetzt spricht man von einer gedämpften Schwingung. Steigert man die Reibung künstlich, indem man das Pendel etwa in eine zähe Flüssigkeit

eintaucht, so kann es vorkommen, daß die Bewegungsenergie vollständig durch Reibung in Wärme umgesetzt wird und dann wird das Pendel, in der Ruhelage angelangt, gar nicht weiterschwingen. Man spricht jetzt von einer aperiodischen, d. h. nicht wiederkehrenden Schwingung.

Wichtig ist es, zu wissen, wovon die Dauer einer solchen Schwingung abhängt. Das wesentliche an dem Schwingungsvorgang

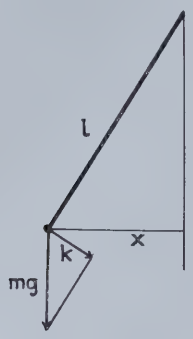


Abb. 67. Rücktreibende Kraft beim Pendel.

Abb. 68. Federschwingungen.

ist, daß die in den Gleichgewichtszustand zurücktreibende Kraft dem Ausschlag stets verhältig ist. Die Kraft wird also dargestellt durch das Vielfache der Entfernung x aus der Gleichgewichtslage und einer unveränderlichen Größe.

Beim Pendel z. B. ist diese rücktreibende Kraft k leicht aus Abb. 67 zu ersehen. Sie verhält sich nämlich zum Gewicht des Pendelkörpers m g wie die Entfernung x von der Gleichgewichtslage zur Pendellänge l, wobei man bei kleinen Ausschlägen von dem Richtungsunterschied zwischen x und k absehen kann.

Abb. 69. Stimmgabel.

Ein Pendel besonderer Art ist die Stimmgabel. Auch sie wird durch elastische Kräfte in einer bestimmten Lage festgehalten (Abb. 69). Entfernt man die Zinken der Stimmgabel von einander, z. B. durch Anstreichen, so wird gleichfalls eine Schwingung auftreten. Da in diesem Falle die elastische Kraft außerordentlich groß ist, so werden die Schwingungen so rasch erfolgen, daß die Stimmgabel einen Ton vernehmen läßt. Das Grundsätzliche einer Federschwingung zeigt Abb. 68.

19. Lehre vom Schall (Akustik).

Obertöne bei Saiten und Pfeifen. Neue Zusammenhänge lehrt uns die Betrachtung einer schwingenden Saite, die zwischen zwei festen Punkten eingespannt ist. Wenn man sie anzupft oder anstreicht, kommt eine eigenartige Schwingung zustande, indem die Enden in Ruhe bleiben, während die Mitte am stärksten schwingt. Man nennt das eine „stehende Welle". Bringt man in der Mitte der Saite einen Steg an, so wird sie an dieser Stelle auch in Ruhe bleiben, aber die Schwingung geht weiter über die Mitte hinaus und die Saite schwingt jetzt in zwei Abteilungen. Man sagt dann, sie besitzt drei Knoten, das sind die feststehenden Punkte, und zwei Bäuche, nämlich die am stärksten bewegten Stellen. Durch aufgesetzte Reiterchen

Abb. 70. Versuch mit der schwingenden Saite.

kann man sich leicht von diesem Schwingungszustand überzeugen. Schiebt man den Steg in ein Drittel der ganzen Saite, so zerfällt sie in drei Abteilungen (s. Abb. 70), u. s. f.

Nun kann man sich leicht ausrechnen, wie groß die Schwingungszahl der dabei auftretenden Töne ist. Es besteht nämlich eine einfache Beziehung zwischen Schwingungszahl, Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit. Unter Wellenlänge versteht man eine Länge, die alle Phasen einer Schwingung zugleich umfaßt (Abb. 71), also eine Wellenerhebung, die man Wellenberg, und eine Wellensenkung, die man Wellental nennt.

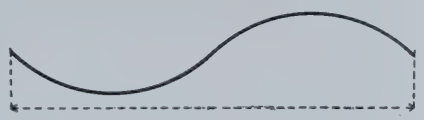


Abb. 71. Wellenlänge λ.

Denkt man sich nun (Abb. 72) einen Wellenzug von drei Wellenlängen über einen Punkt P hinwegstreichen und nimmt an, daß dies gerade in 1 Sekunde geschehe, so stellt die gesamte Länge des Wellenzugs die Fortpflanzungsgeschwindigkeit dar und diese ist, wie man sieht, das Dreifache der Wellenlänge. Wenn die Schwingungszahl n wäre, so wäre sie das n-fache der Wellenlänge. Man hat also die Beziehung Fortpflanzungsgeschwindigkeit c gleich Schwingungszahl n mal Wellenlänge λ, oder $c = n \cdot \lambda$. Diese Schwingungszahl stellt den umgekehrten Wert der Schwingungsdauer T dar. Denn wenn die Schwingungszahl etwa 100 wäre, so hieße das, daß 100 Schwingungen in der Sekunde stattfinden, also ist die Schwingungsdauer $^1/_{100}$ Sekunde, oder allgemein $n = 1/T$.

Nun ist bei der Saite die Ausbreitungsgeschwindigkeit unabhängig davon, ob man Stege anlegt oder nicht. Der Abstand zweier Knotenpunkte ist aber gleich $^1/_2 \lambda$. Wenn also die Saite der Reihe nach in 1, 2, 3 Abschnitten schwingt, so verhalten sich die Wellenlängen wie $1 : {}^1/_2 : {}^1/_3$. Damit das Vielfache der Wellenlänge und Schwingungszahl stets dieselbe Fortpflanzungsgeschwindigkeit ergebe, müssen sich daher die Schwingungszahlen verhalten wie 1:2:3. Achtet man nun auf die Höhe der von der Saite erzeugten Töne, so bemerkt man, daß diese Töne sich verhalten wie Grundton zu Oktave und zur Quinte der Oktave, d. h. allgemein, die Töne erscheinen uns harmonisch, wenn ihre Schwingungszahlen sich wie kleine ganze Zahlen verhalten.

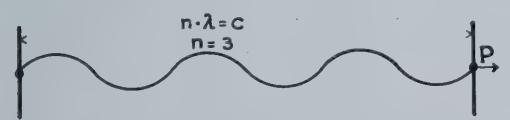


Abb. 72. Beziehung zwischen Schwingungszahl n, Wellenlänge λ und Fortpflanzungsgeschwindigkeit c.

In ähnlicher Weise findet man, daß eine offene Pfeife je nach der Stärke, mit der man sie anbläst, in 1, 2, 3 Abschnitte zerfällt, d. h. daß sie Töne erzeugen kann, deren Schwingungszahlen ebenfalls im Verhältnis der Reihe der ganzen Zahlen stehen.

Bei einer gedeckten Pfeife dagegen verhalten sich die Schwingungszahlen der möglichen Töne wie die ungeraden Zahlen, während die geradzahligen höheren Töne ausfallen. Diese höheren Töne nennt man die Obertöne zum Grundton.

Mitschwingen oder Resonanz. Es ist nun die Frage, ob diese Obertöne nur einzeln erzeugt, oder ob sie auch zugleich mit dem Grundton erregt werden können.

Wenn man aufmerksam zuhört, kann man in der Tat finden, daß die Saite neben dem Grundton noch die Oktave und weitere Obertöne entstehen läßt. Um die Aufmerksamkeit des Ohres zu unterstützen, hat Helmholtz ein wichtiges Hilfsmittel benutzt: „Resonatoren", d. h. mitschwingende Tonerzeuger.

Was versteht man unter Resonanz? Das wird am einfachsten klar, wenn man zwei auf Stimmkästen befestigte Stimmgabeln von gleicher Tonhöhe nebeneinander stellt und deren eine anstreicht. Man hört dann, daß die andere mittönt und weiterschwingt, wenn die erste durch Berührung beruhigt wird. Dieses Mitschwingen tritt aber dann nicht ein, wenn man die zweite Stimmgabel gegen die erste verstimmt, z. B. durch angehängte kleine Gewichte.

Klangfarbe. Nimmt man nun eine offene und gedeckte Pfeife zur Hand, die beide die gleiche Tonhöhe haben, so bemerkt man beim Anblasen doch einen merkwürdigen Unterschied des Klanges. Man sagt, sie haben verschiedene Klangfarbe. Die Klangfarbe wird also bedingt durch die Art und Stärke der Obertöne. So kommt es, daß die Klänge verschieden sind, wenn auch Sänger, Klavier oder Violine denselben Ton mit derselben Stärke angeben. Die verschiedenen Musikinstrumente besitzen eben verschiedene Art und Stärke der Obertöne.

Klangfarbe der Vokale. Wodurch unterscheiden sich nun die verschiedenen Vokale? Sie können doch alle auf dieselbe Tonhöhe gesungen werden. Auch ihre Klangfarbe ist verschieden. Auch hier müßten wir nach der Verschiedenheit der Obertöne fragen. Helmholtz hat festgestellt, und spätere Forscher haben es bestätigt, daß durch die verschiedene Stellung des Mundes und der Zunge das Zustandekommen verschiedener Obertöne begünstigt wird. Die Stimmbänder, die von der Lunge angeblasen werden, erzeugen den Ton, und dieser Ton wird durch die Mundhöhle, wie durch einen Resonanzkasten verändert. Aber während bei der Saite die Obertöne stets in einem bestimmten Verhältnis zum Grundton stehen, liegen die für die Erzeugung der Vokale wichtigen Obertöne im wesentlichen fest. Sie besitzen eine bestimmte absolute Tonhöhe, die nur um kleine Beträge hin- und herschwankt. So hat das U wenig und tiefe Obertöne, das A höhere und starke Obertöne, das I die höchsten Obertöne. Diese wichtigsten oder charakteristischen Obertöne nennt man daher auch Formanten des Vokals, d. h. Töne, die dem Vokal seine eigentümliche Form oder Klangfarbe geben.

Aus dieser Tatsache ergibt sich eine merkwürdige Folgerung, auf die Helmholtz aufmerksam gemacht hat. Wenn nämlich der Grundton des von den Stimmbändern angeschlagenen Tones höher liegt als die Formanten der Vokale, dann können diese nicht mehr mitklingen. In der Tat weiß jeder Besucher von Opern, daß ein höherer Sopran nicht gleichzeitig gut singen und die Vokale deutlich hervorbringen kann. Anders liegt das beim Bariton, der deutliche Wortwiedergabe mit gutem Gesang vereinigen kann.

Abb. 73 zeigt einige Schwingungsformen von Vokalen, wobei als Abschnitte die Zeit und als Zugeordnete oder Ordinate der Schwingungsausschlag (Amplitude) des Tones aufgetragen wird. Zum Vergleich ist ein einfacher Ton wiedergegeben, der aus einer regelmäßigen Wellenlinie besteht.

Diese Dinge sind neuerdings für die drahtlose Telephonie wichtig geworden bei Versuchen, die Sprache laut wiederzugeben. Es tritt da die gleiche Schwierigkeit

auf wie bei dem Phonographen oder Grammophon, bei dem der angehängte Trichter die Klangfarbe verändert, indem er gewisse Obertöne bevorzugt. Man nennt das eine Verzerrung der Sprache oder des Klanges.

Harmonie der Klänge. Wenn ein Ton von 100 Schwingungen zusammentönt mit einem Ton von 101 Schwingungen, so wird es einmal in der Sekunde vorkommen, daß die Töne einander verstärken, und einmal, daß sie einander abschwächen. Diese Schwankungen in der Tonstärke bezeichnet man als eine Schwebung, deren Zahl in der Sekunde eben durch den Unterschied in der Schwingungszahl der beiden einfachen Töne bestimmt wird. Wenn diese Schwebungen rasch aufeinanderfolgen, so entsteht eine unangenehme Empfindung, ähnlich der des flackernden Lichtes. So kommt es also, daß ein ungestörtes Zusammenklingen zweier Töne nur dann stattfindet, wenn ihre Schwingungszahlen in einem einfachen Verhältnis stehen. Das dürfte in der Tat der wesentliche Grund sein zur Erklärung der Abhängigkeit des Eindrucks harmonischen Zusammenklingens zweier Töne von der Einfachheit ihres Schwingungszahlenverhältnisses. Man hat gegen die Helmholtzsche Erklärung eingewandt, daß jener Eindruck auch bei solchen Tönen entstehen kann, die keine Obertöne besitzen. Nun hat schon Helmholtz darauf hingewiesen, daß in diesem Falle auch die „Differenztöne" von Wichtigkeit sind. Das sind Töne, deren Schwingungszahl gleich dem Unterschied der Schwingungszahlen der Einzeltöne sind. Neuerdings hat F. Krueger nachgewiesen, daß die Differenztöne kräftiger und in größerer Zahl auftreten, als man bisher annahm. Sie traten ungestört nur auf, wenn die Schwingungszahlen der Einzeltöne im Verhältnis kleiner gewisser Zahlen stehen und tragen daher in diesem Fall wesentlich zu ihrem angenehmen „harmonischen" Zusammenklang bei.

Abb. 73a. „O" Männerstimme, Schwingungszahl des Grundtones 200.

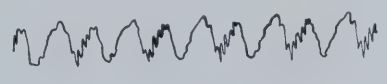


Abb. 73b. „A" Männerstimme, Schwingungszahl des Grundtones 204.

Abb. 73c. „U" Männerstimme, Schwingungszahl des Grundtones 291.

Abb. 73d. Einfache Wellenlinie.

Abb. 73. Vokalbilder nach Trendelenburg aus Ztschr. f. techn. Physik, 1924, Tafel VII.

20. Lichtwellen.

Interferenz oder Verbindung der Wellen. Bisher hatten wir uns nur mit den Lichtstrahlen beschäftigt und es muß jetzt die Frage aufgeworfen werden, ob diese Strahlen körperliche oder Wellenstrahlen sind. Beide Ansichten sind vertreten worden. Newton nahm an, daß das Licht aus kleinen Teilchen bestünde, die mit Lichtgeschwindigkeit von den leuchtenden Körpern weggeschleudert würden. Die Geradlinigkeit der Ausbreitung ergab sich so von selbst und auch die Erscheinung der Zurückwerfung und Brechung konnte man gut damit erklären.

Dem stellte Huygens eine andere Auffassung gegenüber, nämlich daß das

Licht in der Ausbreitung von Wellen bestehe. Da aber, wie wir sahen, das Licht durch den leeren Raum hindurchgeht, so mußte Huygens annehmen, daß auch dieser mit einem Stoff erfüllt sei, dem „Äther", den er sich als eine außerordentlich leichte Flüssigkeit vorstellte. Über 100 Jahre behauptete sich die Newtonsche Lehre. Wenn man von ihr abgekommen ist, so geschah das auf Grund von besonderen Erscheinungen, die wir jetzt genauer betrachten wollen. Es sind das Erscheinungen, bei denen Licht zu Licht gefügt, nicht eine verstärkte, sondern eine verminderte Wirkung hervorbringt.

Um an Bekanntes anzuknüpfen, denken wir uns eine angeschlagene Stimmgabel mit wagrechter Achse über einen lotrecht aufgestellten Resonanzkasten gehalten. Wird die Stimmgabel so gehalten, daß die eine Zinke die andere, vom Kasten aus betrachtet, verdeckt, so wird die Schwingung dieser Zinke fast ausschließlich die Luft in dem Kasten zum Mitschwingen erregen.

Abb. 74. Aufhebung zweier Wellen beim Gangunterschied einer halben Wellenlinie.

Wenn man aber nun die Stimmgabel um eine wagrechte Achse herum dreht, so daß beide Zinken ihre Wirkung entfalten können, so wird man bemerken, daß der Ton des Kastens verstummt. Das kommt daher, daß die beiden Zinken im entgegengesetzten Sinne schwingen, so daß die eine im selben Augenblick eine Verdichtung der Luft im Kasten hervorbringen würde, da die andere eine Verdünnung erzeugt. Man wird im allgemeinen sagen können, daß die beiden Schwingungen einander aufheben, wenn der Wellenberg der einen auf das Wellental der anderen fällt, d. h. (Abb. 74), wenn der Gangunterschied eine halbe Wellenlänge oder das ungerade Vielfache einer solchen beträgt. Sie werden dagegen einander verstärken, wenn Wellenberg auf Wellenberg fällt, d. h. wenn der Gangunterschied eine ganze Wellenlänge oder das Vielfache einer solchen beträgt.

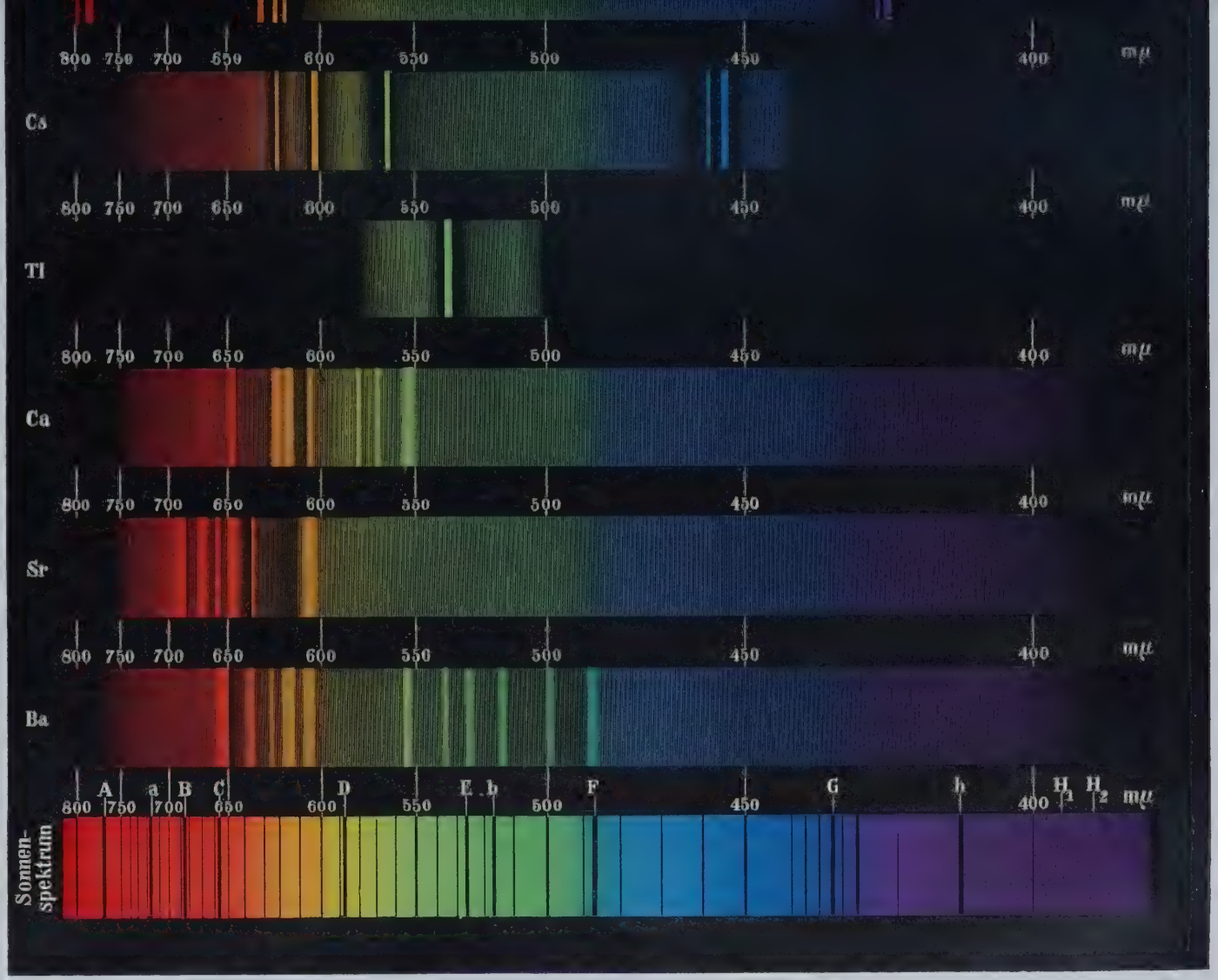
Am einfachsten erhält man solche gleichlaufende Wellen von einem gewissen Gangunterschied, wenn man eine Lichtwelle zurückwerfen läßt von zwei nahe hintereinander liegenden Flächen, d. h. an den Grenzen eines dünnen Blättchens. Es war schon lange bekannt, daß dünne Seifenblasen Farben zeigen.

Dabei ist es gänzlich gleichgültig, woraus das dünne Blättchen besteht, denn die Seifenlösung an sich ist nicht farbig. Man kann z. B. auch eine dünne Luftschicht benutzen. Eine solche hat Newton dadurch hergestellt, daß er eine ganz schwach gewölbte Linse auf eine ebene Glasplatte auflegte. An der Berührungsstelle ist dann die Dicke Null und wächst beständig nach außen. Dementsprechend erscheint eine solche Luftschicht im weißen Licht in der Mitte dunkel, dann schließen sich farbige Ringe an. Bei einfarbiger Beleuchtung erblickt man nur helle und dunkle Ringe.

Diese Erscheinung erklärt sich nach der Wellenlehre einfach daraus, daß die an der vorderen und hinteren Fläche der Schicht zurückgeworfenen Wellen sich miteinander verbinden, oder wie der Physiker sagt, miteinander interferieren. Bei wachsender Schichtdicke werden zwei Wellen zusammenkommen, deren Gangunterschied abwechselnd so groß ist, daß eine Verstärkung, oder so groß, daß eine Aufhebung ihrer Wirkungen erfolgt.

RARY
OF THE
UNI ERSITY OF ILLI O

800 750 700 650 600 550 500 450 400 mμ
H_2
Helium
Ne
Li
Na
K



Spektraltafel.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

Daß die Mitte der Ringe dunkel ist, erklärt sich dadurch, daß das Licht bei Zurückwerfung in Luft an Glas mit der entgegengesetzten Phase zurückgeworfen wird, wie bei Glas an Luft. Es kommt also auf dasselbe hinaus, als ob der Gangunterschied der beiden Wellen dort eine halbe Wellenlänge betragen hätte.

Es erübrigt sich zu sagen, wie Newton selbst diese Erscheinung aufgefaßt hat, da sich seine Auffassung nicht als stichhaltig erwies. Erscheinungen dieser Art bezeichnet man im allgemeinen als Interferenzerscheinungen und sie sind es in erster Linie, die dazu gezwungen haben, das Licht als eine Wellenbewegung aufzufassen. Es ist nun klar, daß man aus den Beobachtungen der Newtonschen Ringe die Größe der Wellenlänge des Lichtes ableiten kann. Wenn man nämlich den Krümmungsradius der Linse kennt und den Halbmesser der Newtonschen Ringe bestimmt, so kann man daraus die Dicke der Luftschicht berechnen. Der erste dunkle Ring liegt da, wo die Dicke der Luftschicht gerade eine halbe Wellenlänge beträgt. Daraus findet man z. B. für gelbes Licht die Wellenlänge zu rund 600 millionstel Millimeter ($\mu\mu$) oder gleich 0,0006 mm; für das äußerste bequem sichtbare Rot rund 760 millionstel Millimeter, für das noch leicht erkennbare äußerste Violett rund 390 millionstel Millimeter, d. h. dem roten Licht kommt die größere, dem violetten Licht die kleinere Wellenlänge zu. Nebenbei sei hier bemerkt, daß die Grenzen der Farbenwahrnehmung des menschlichen Auges nach Helmholtz bei 812 $\mu\mu$ im Roten und 310 $\mu\mu$ im Violetten liegen. Doch lassen sich diese Grenzen nur mit besonderen Hilfsmitteln erreichen.

Aus der Wellenlänge kann man dann aber auch die Schwingungszahl berechnen nach der Formel: Schwingungszahl gleich Ausbreitungsgeschwindigkeit geteilt durch Wellenlänge. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit war 300000 km/sec oder 300000 Millionen Millimeter. Wenn man dies durch 0,0006 teilt, so findet man 500 Billionen Schwingungen in der Sekunde für das gelbe Licht, während die Schwingungszahl für das rote Licht geringer und für das violette größer ist.

Stehende Lichtwellen und Farbenphotographie mittels Interferenz. Man kann auch, statt die Wellen in gleicher Richtung, sie in entgegengesetzter Richtung laufen lassen. Dann treten stehende Wellen auf, wie wir sie bei Saiten kennen gelernt haben, wo Wellenbäuche mit Wellenknoten abwechselten. Es muß also vor einem guten Spiegel auch ein Gebilde von stehenden Wellen auftreten, die der Verfasser dadurch nachwies, daß er vor dem Spiegel ein gegenüber der Lichtwellenlänge dünnes photographisches Häutchen ausspannte. Da wo die Bauchebenen das Blättchen schneiden, tritt eine Lichtwirkung auf, die man nachher durch Entwicklung nachweisen kann.

Benutzt man ein durchsichtiges photographisches Blättchen, das mehrere Wellenlängen dick ist, wie es Lippmann getan hat, so werden in der entwickelten Schicht dünne Silberschichten entstehen, die um eine halbe Wellenlänge voneinander abstehen.

Betrachtet man die entwickelte Schicht im auffallenden Licht, so werden jetzt die Wellen, die an den dünnen Silberschichten zurückgeworfen wurden, ebenfalls miteinander interferieren, und, wie bei dünnen Blättchen, Farben entstehen lassen, und zwar erscheint an jeder Stelle gerade die Farbe, die vorher wirksam gewesen ist; es ist also dadurch möglich, eine farbige Wiedergabe farbiger Gegenstände, also eine Art von Farbenphotographie zu erreichen. Freilich sind es nur Schein- oder Interferenzfarben, die dabei entstehen, nicht körperliche Farben.

Beugung des Lichtes. Es waren aber weniger die gewöhnlichen Interferenzerscheinungen, die der Wellenlehre zum Sieg verhalfen, als die Erklärung der Beugungserscheinungen. Auch Newton war es schon bekannt, daß das Licht nicht ganz geradlinig an einer Kante vorbeigeht, sondern etwas um den Schatten umbiegt, und dieser Schatten ist von farbigen Rändern umsäumt. Der einfachste, leicht zu übersehende Fall ist der, daß das Licht durch eine dünne Spalte hindurchgeht, die man mit einem Fernrohr betrachtet, so daß parallele Strahlen in der Brennebene des Fernrohrobjektivs vereinigt werden, die man mit dessen Okular betrachtet. Die Erscheinung, die dabei auftritt, lehrte Fresnel zu berechnen, indem er den Interferenzgedanken auf einen von Huygens aufgestellten Wellensatz anwandte. Er besagt in der neuen Form, daß alle einzelnen Stellen des Spaltes Wellen aussenden, die miteinander zur Interferenz gelangen.

Wählt man also z. B. die Betrachtungsrichtung so, daß die Randstrahlen, die vom Spalt herkommen (Abb. 75) miteinander einen Gangunterschied von einer ganzen Wellenlänge haben, so kann man den Spalt in zwei gleiche Abteilungen zerlegen, so daß zu jedem Punkte der einen Abteilung ein Punkt der anderen gefunden werden kann, der mit ihm einen Gangunterschied von einer halben Wellenlänge hat, so daß die Wellen einander aufheben. Es wird dann in der betrachteten Richtung keine Lichtwirkung aufkommen können. („Minimum der Interferenz".)

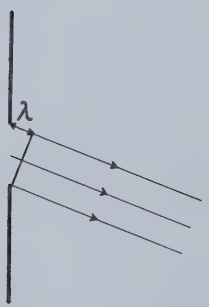


Abb. 75. Beugung am Spalt: Gangunterschied der Randstrahlen 2 λ/2. Minimum der Interferenz.

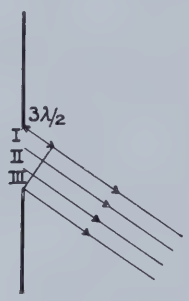


Abb. 76. Beugung am Spalt: Gangunterschied der Randstrahlen 3 λ/2. Maximum der Interferenz.

Wählt man aber die Neigung der Strahlen (Abb. 76) so, daß der Gangunterschied der Randstrahlen drei halbe Wellenlängen wird, so kann man den Spalt in drei gleiche Abteilungen einteilen, so daß die Teile I und II einander aufheben, während III übrig bleibt. Die sich ergebende Schwingung des Lichtes wird daher nur ein Drittel von der sein, die bei einer Mitwirkung des ganzen Spaltes erfolgte, und da die Energie der Schwingung dem Quadrat des Schwingungsausschlags — „Amplitude" — verhältig ist, so wird die Lichtstärke in der betreffenden Richtung nur ein Neuntel sein von derjenigen, die bei einer günstigen Mitwirkung des ganzen Spaltes in dieser Richtung zustande käme. Das Ergebnis dieser Betrachtung ist, daß das geradeaus gehende Licht am stärksten ist, nach der Seite hin allmählich abnimmt, dann wieder einen Höhepunkt der Lichtstärke erreicht, um wieder abzunehmen und so fort; aber in sehr kleinen Winkelabständen wird die Lichtstärke bereits unmerklich geworden sein, und zwar um so mehr, je breiter der Spalt ist.

Das ist der Grund, weshalb das Licht im wesentlichen geradeaus geht, während doch kleine Abweichungen die Beugungserscheinungen zustande bringen. Damit ist der wesentliche Einwand beseitigt, der Newton an der Annahme der Wellenlehre hinderte. Der Umstand aber, daß es Fresnel gelang, auch die verwickeltsten Beu-

gungserscheinungen durch die Rechnung richtig wiederzugeben, während die Newtonsche Theorie in diesem Punkte vollständig versagte, hat schließlich den Ausschlag zugunsten der Wellenlehre gegeben.

Eine der auffälligsten und wichtigsten Beugungserscheinungen ist die, die man erhält, wenn man das Licht durch ein Gitter hindurchfallen läßt, d. h. durch eine Reihe von gleichweit voneinander abstehenden Spalten, die durch undurchsichtige Stellen voneinander getrennt sind. Ein solches Gitter erhält man z. B., wenn man auf einer berußten oder versilberten Glasplatte mit einer Maschine feine Striche nebeneinander zieht. Entwirft man nun von dem Spalt durch eine Linse auf einem Schirm das Spaltbild und bringt hinter die Linse das Gitter, so beobachtet man zu beiden Seiten des Spaltes eine Reihe von abgebeugten Bildern, die mit farbigen Säumen umgeben sind. Aus Abb. 77 erkennt man, daß der Sinus des Ablenkungswinkels α gleich dem Verhältnis der Wellenlänge λ des Lichtes geteilt durch die Gitterbreite d ist. Es muß also bei ausreichend feinen Spalten jedes abgebeugte Spaltbild sich in ein Spektrum auflösen, das mit der kleinsten Wellenlänge, also

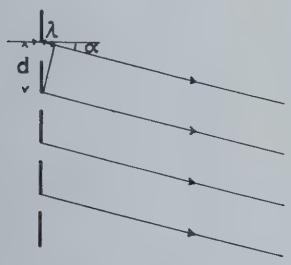


Abb. 77. Erstes seitliches Maximum beim Beugungsgitter für $\sin \alpha = \lambda/d$.

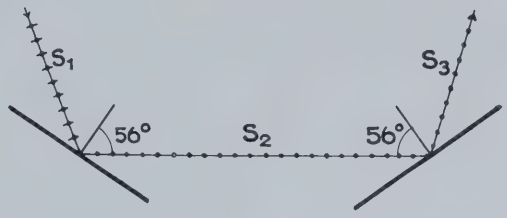


Abb. 78. Zum Malusschen Versuch. Die Striche auf S_1 bedeuten die Schwingungen in der Einfallsebene, die Punkte die Schwingungen senkrecht zur Einfallsebene.

Violett beginnt und mit der größten, also mit Rot, endigt. Beträgt der Gangunterschied der Wellen, die durch die aufeinanderfolgende Gitteröffnung hindurchgehen, nicht eine, sondern mehrere Wellenlängen, so werden dementsprechend Spektren zweiter, dritter, vierter Ordnung entstehen. Je enger man die Gitter macht, um so weiter werden die Spektra ausgedehnt.

Diese Gitterspektren kann man in besonders glänzender Weise erzeugen, wenn man nicht durchgehendes, sondern zurückgeworfenes Licht benutzt, indem man auf einem Metallspiegel mit einer Teilmaschine eine große Anzahl von Strichen anbringt. Die stehengebliebenen Balken spielen dann die Rolle des durchgehenden Lichtes, weil sie das Licht gut zurückwerfen, während die Vertiefungen der Striche die Rolle der undurchsichtigen Stellen annehmen, weil sie das Licht nach allen Seiten zerstreuen. Diese Gitter sind in großer Vollkommenheit von Rowland hergestellt worden und werden in der messenden Spektralanalyse mit großem Vorteil verwandt.

Polarisierte oder gerichtete Lichtwellen. Noch ist es bisher unentschieden geblieben, ob das Licht wie der Schall aus einer longitudinalen, d. h. Längsschwingung, oder aus einer transversalen, d. h. seitlichen Schwingung besteht. Es lag natürlich zunächst nahe, den Lichtäther mit der Luft zu vergleichen und anzunehmen, daß die Schwingungen auch Längsschwingungen seien. Da entdeckte Malus im Jahre 1809 die merkwürdige Erscheinung, daß das Licht bei der Zurück-

werfung an Glasspiegeln unter einem gewissen Winkel eine eigenartige Veränderung erleidet. Läßt man das Licht hintereinander an zwei unbelegten Glasplatten, die man hinten geschwärzt hat, um allein die Zurückwerfung an der vorderen Fläche zu erhalten, unter einem Einfallswinkel von etwa 56° zurückgeworfen werden (Abb. 78), so erhält man einen Strahl S_3 von merklicher Stärke. Wenn man jetzt aber die Einfallsebene des zweiten Spiegels um den Verbindungsstrahl S_2 um einen rechten Winkel dreht, so wird die Lichtstärke von S_3 allmählich abnehmen, um schließlich ganz zu verschwinden. Diese Erscheinung läßt sich selbstverständlich nicht erklären, wenn man Längsschwingungen annimmt, denn der zurückgeworfene Strahl könnte sich von dem einfallenden in nichts unterscheiden. Anders liegt die Sache, wenn man annimmt, daß das Licht seitlich zur Ausbreitungsrichtung schwingt und daß im natürlichen Licht alle Schwingungsrichtungen senkrecht zum Strahl vertreten sind, denn dann wird je nachdem ein Unterschied eintreten können, ob das Licht in oder senkrecht zur Einfallsebene schwingt. Fresnel nahm an, daß das Licht unter dem besagten Einfallswinkel nur dann zurückgeworfen wird, wenn die Schwingungen senkrecht zur Einfallsebene verlaufen, dagegen nicht, wenn sie in der Einfallsebene verlaufen (Abb. 79). Auf diese Art läßt sich diese Erscheinung gut verstehen, denn nach der Drehung der Einfallsebene des zweiten Spiegels um einen rechten Winkel verlaufen die einfallenden Schwingungen für ihn in der Einfallsebene und können somit nicht mehr zurückgeworfen werden. Einen Strahl, dessen Schwingungen nur noch parallel einer festen Ebene verlaufen, bezeichnet man polarisiert oder gerichtet. Die Einfallsebene des Spiegels, der diese Richtung hervorbringt, heißt die Polarisationsebene des Strahls und der Einfallswinkel, unter dem man den Strahl auf den Spiegel auftreffen lassen muß, heißt der Polarisationswinkel; denn es stellt sich heraus, daß seine richtende Wirkung nur dann vollkommen ist, wenn der zurückgeworfene Strahl mit dem gebrochenen einen rechten Winkel bildet.

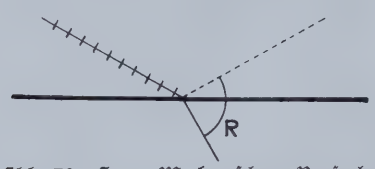


Abb. 79. Zum Malusschen Versuch: Die Schwingungen in der Einfallsebene werden nicht zurückgeworfen.

Abb. 80. Nikols Prisma.

Polarisation und Doppelbrechung. Es war schon lange bekannt, daß der Kalkspat merkwürdige Eigenschaften zeigt, indem er das Licht nicht einfach, sondern doppelt bricht, und es erwies sich, daß die beiden gebrochenen Strahlen polarisiert sind, und zwar in Ebenen, die aufeinander senkrecht stehen. Den besten Polarisator stellt man sich daher mit Hilfe von Kalkspaten her, die so eingerichtet sind, daß nur der eine Strahl durchgelassen wird. Das wird (Abb. 80) dadurch erreicht, daß man ein Prisma durchschneidet und mit Canadabalsam wieder zusammenfügt. Der eine der beiden Strahlen, der den regelmäßigen Gesetzen der Brechung folgt und der deshalb der ordentliche heißt, wird dabei stärker abgelenkt und kommt unter großem Einfallswinkel auf den Canadabalsam, wo er vollständig zurückgeworfen oder total

reflektiert wird. Es bleibt dann nur noch der außerordentliche Strahl übrig, den man so nennt, weil er nicht den einfachen Gesetzen der Brechung gehorcht.

Stellt man nun zwei Nikolsche Prismen mit entsprechenden Flächen parallel hintereinander, so wird das Licht hindurchgelassen. Dreht man den zweiten Nikol um 90° herum, so wird das Licht nicht hindurchgelassen.

Natürliche Drehung der Polarisationsebene. Jede Veränderung des Polarisationszustandes, bei dem eine Schwingung senkrecht zu der ursprünglichen auftritt, wird sich daher durch eine Aufhellung des Gesichtsfeldes bemerkbar machen. Das geschieht sowohl, wenn man eine geeignet geschnittene Kalkspatplatte zwischen die Nikols bringt, als auch beispielsweise eine Zuckerlösung. Diese hat ebenso die Eigenschaft, die Polarisationsebene des Lichtes zu drehen, ebenso wie der Quarz, wenn er es gleichlaufend seiner Achse hindurchläßt. Indem man den zweiten Nikol gleichfalls weiterdreht, kann man das Licht wieder zum Verlöschen bringen und kann daher den Grad der Drehung der Polarisationsebene bestimmen. Es ist klar, daß diese Drehung um so stärker ausfallen muß, je stärker die Konzentration der Zuckerlösung ist und man kann also die Konzentration bestimmen durch die Größe der Drehung der Polarisationsebene. Es ist das eine wichtige Anwendung der Polarisationsapparate, die für Zuckerfabriken von Bedeutung ist und für Ärzte bei der Bestimmung des Zuckergehalts des Urins von zuckerkranken Personen.

21. Elektrische Schwingungen und elektromagnetische Wellen.

Wenn man einen geladenen Kondensator durch einen Verbindungsdraht zwischen den beiden Platten entlädt, so sollte man zunächst denken, die Ladung fließe von der einen Seite nach der anderen ab, bis sich die Potentiale ausgeglichen haben.

Erst Feddersen hat zu Beginn der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts den genauen Nachweis für eine schwingende Entladung durch Versuche geführt. Zu diesem Zwecke brachte er eine Funkenstrecke in der Entladungsbahn an (Abb. 81) und untersuchte die Natur des Funkens. Das ist ohne weiteres natürlich nicht möglich, da die Entladung zu rasch vor sich geht. Feddersen benutzte daher nach dem Vorgang Wheatstones einen rasch umlaufenden Hohlspiegel, der das Bild des Funkens auf eine photographische Platte warf. Dadurch wurde das Bild des Funkens auseinandergezogen und er konnte jetzt nachweisen, daß im allgemeinen die Entladung keine stetige, sondern eine hin- und hergehende war, daran erkenntlich, daß das Funkenbild unterbrochen schien und außerdem an den beiden Polen abwechselnd verschiedene Formen hatte, bedingt durch die Verschiedenheit des Entladungsvorgangs an dem positiven und negativen Pol der Funkenstrecke.

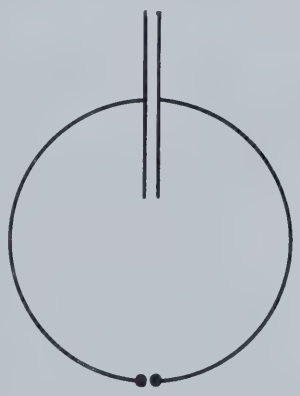


Abb. 81. Zur Erzeugung elektrischer Schwingungen.

Es war der große Experimentator Faraday, der einen Umschwung in der Auffassung der fernwirkenden Kräfte brachte. Man hatte sich bisher vorgestellt, daß

die elektrischen Kräfte den Raum zwischen den elektrisch geladenen Körpern überspringen und plötzlich wirken, ebenso wie man sich das bei der Schwerkraft dachte. Diese Vorstellung mußte einem unvoreingenommenen Sinne wunderbar erscheinen. Wie kann — bildlich gesprochen — der geladene Körper wissen, wohin er sich begeben soll, wenn nicht in seiner unmittelbaren Nachbarschaft eine Veränderung vor sich gegangen ist. Sind wir doch gewöhnt anzunehmen, daß nur das an einem Orte wirksam ist, was in seiner unmittelbaren Nähe geschieht. Faraday suchte daher nach den Anzeichen einer stetigen Übertragung der Kraft durch den Raum, und diese mußte sich finden, wenn das zwischen den geladenen Körpern liegende Mittel, das „Dielektrikum" einen Einfluß ausübt.

Die Vorstellungen von Faraday sind später von Maxwell genauer festgelegt und in mathematische Form gebracht worden. Maxwell stellte sich vor, daß der leere Raum, oder der Äther, sowohl elektrisch als magnetisch polarisierbar sei, d. h. sowohl unter dem Einfluß elektrischer als magnetischer Kräfte, eine Trennung der entgegengesetzten elektrischen oder magnetischen Masse erlitte. Man mußte sich also vorstellen, daß der Äther sich so verhalte, als ob er, in einen nichtleitenden Stoff eingebettet, eine große Zahl von elektrischen Doppelpolen besäße, die unter dem Einfluß einer elektrischen Kraft voneinander getrennt werden können. Bei dieser Trennung muß aber eine Verschiebung der elektrischen Massen auftreten und dabei mußte etwas zustande kommen wie ein elektrischer Strom. Und nun ging die Annahme von Maxwell dahin, daß dieser „Verschiebungsstrom" die gleichen Eigenschaften wie ein Leitungsstrom habe, d. h. ein solcher Verschiebungsstrom erzeugt senkrecht um sich herum ein magnetisches Feld, wie ein elektrischer Leitungsstrom, und ebenso muß bei der Veränderung eines magnetischen Kraftfeldes um dieses herum ein elektrischer Verschiebungsinduktionsstrom auftreten.

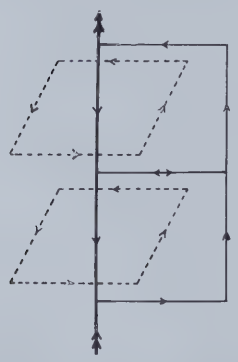


Abb. 82. Zur Ausbreitung elektrischer Wellen.

Denken wir uns also (Abb. 82) einen Leiter, in dem elektrische Schwingungen erzeugt worden sind, so werden in Ebenen senkrecht zu ihm magnetische Kraftlinien auftreten, die der Einfachheit halber hier in Form von Quadraten gezeichnet sind, statt in Kreisform. Diese magnetischen Kraftlinien werden jetzt wieder um sich herum elektrische Verschiebungsströme induzieren, die in Ebenen senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien verlaufen. Auf diese Weise entsteht gleichlaufend mit dem ursprünglichen Strom — durch doppelte Pfeile gekennzeichnet — ein Verschiebungsstrom, während in den Verbindungslinien der beiden Strombahnen entgegengesetzt gerichtete Spannungen auftreten, die einander aufheben. In dem Ausgangsdraht aber bewirkt die erzeugte Spannung eine Abnahme der Stromstärke. Auf diese Weise werden also auf Kosten des ursprünglichen Stromes um ihn herum Verschiebungsströme auftreten, die mit ihm gleichlaufen.

Diese Ströme erzeugen selbst wieder magnetische Kräfte und diese wieder Verschiebungsströme. Auf solche Weise kommt also eine elektromagnetische Welle zustande, die sich in allen Richtungen, senkrecht zur Richtung des Drahtes ausbreitet. In Abb. 83 ist eine dieser Richtungen als Richtung des Strahles der elektro-

magnetischen Welle mit S gekennzeichnet. Senkrecht zum Strahl und parallel zu der Richtung der Schwingungen im Draht verlaufen die elektrischen Schwingungen E—E und senkrecht dazu und zum Strahl die Schwingungen der magnetischen Kraft M—M. Soweit die Theorie von Maxwell. Inwiefern entspricht sie der Wirklichkeit?

Eine einfache Folgerung der Maxwellschen Theorie war die, daß die Dielektrizitätskonstante eines Körpers gleich dem Quadrat seines Brechungsverhältnisses für ausreichend lange Wellen sein müsse, eine Folgerung, die zuerst Boltzmann für Gase und Schwefel bestätigte. Da nun der Schwefel doppelbrechend ist und den drei aufeinander senkrechten Richtungen verschiedene Brechungsverhältnisse zukommen, so mußten auch die Dielektrizitätskonstanten entsprechend verschieden ausfallen. Auch diese Folgerung wurde von Boltzmann bestätigt.

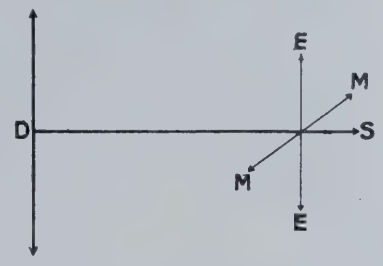


Abb. 83. Die Ausstrahlung der elektromagnetischen Energie. D = Draht, in dem elektrische Schwingungen stattfinden; S = Richtung der elektromagnetischen Ausstrahlung; E—E = Richtung der elektrischen Schwingung; M—M = Richtung der magnetischen Schwingung.

Aber der Nachweis von elektrischen Schwingungen im freien Raume erschien ungleich schwieriger.

Einer der wenigen, die der Maxwellschen Theorie Beachtung schenkten, war Helmholtz, und er verwies seinen Schüler Hertz darauf durch eine Preisaufgabe. In der Tat war es dann Hertz, dem der Wurf gelang. Voraussetzung aber für das Gelingen des Nachweises von elektrischen Schwingungen im Laboratorium war die Erzeugung von Wellen, deren Länge in einem Zimmer Platz fand.

Was damit verlangt war, ersieht man ohne weiteres aus der Beziehung (Abschnitt 19) $c = n \cdot \lambda$, oder $\lambda = c/n$, worin c die Ausbreitungsgeschwindigkeit, n die Schwingungszahl und λ die Wellenlänge bedeutet. Da nun nach Maxwell sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektrischen Wellen gleich Lichtgeschwindigkeit (Abschnitt 20) ergab und die von Feddersen erzeugten Schwingungen die Schwingungszahl von etwa einer Million in der Sekunde besaßen, so ergibt sich, daß die zugehörige Wellenlänge 300 m sein müßte.

Abb. 84. Der Hertzsche Oszillator.

Feddersens Schwingungen waren also noch viel zu langsam. Wie man sie rascher machen könne, das zeigt die Thomsonsche Formel, von der vorhin die Rede war. Es mußte die Kapazität des Kondensators verringert werden, nämlich dadurch, daß man die Kondensatorplatten auseinanderrückt. Man denke sich also einfach die Platten auseinandergelegt und erhält so den Hertzschen Oszillator, d. h. Erzeuger elektrischer Schwingungen (Abb. 84). Auf diese Weise gelang es Hertz, die Schwingungszahl ungefähr auf das 30fache zu erhöhen, so daß er Wellenlängen von ungefähr 10 m erhielt, die in dem großen Hörsaal, der Hertz zur Verfügung stand, Platz fanden.

Hertz schritt zunächst dazu, die Ausbreitung dieser Wellen entlang Drähten zu untersuchen, wobei er mit geeigneten Hilfsmitteln in der Tat feststellen konnte, daß sich die Wellen dem Draht entlang mit Lichtgeschwindigkeit fortpflanzen.

Nun mußte aber das letzte geleistet werden, nämlich der Nachweis, daß sich auch im freien Raume solche Wellen mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten.

Zu diesem Zwecke stellte er am Ende seines Hörsaales eine große metallische Wand auf, die die Wellen zurückwerfen sollte. Es mußten sich dann in der Nähe der Wand stehende elektrische Wellen ausbilden und es kam nur darauf an, ein geeignetes Mittel zu finden, diese Wellen nachzuweisen.

Dazu benutzte er einen Resonator, der aus weiter nichts bestand, als aus einem zum Kreis gebogenen Draht, der an einer Stelle eine kleine Funkenstrecke freiließ (Abb. 85). Ein solcher Resonator spricht in der Nähe des elektrischen Oszillators an und zwar um so besser, je mehr er auf ihn abgestimmt ist, d. h. je genauer die Zahl der Schwingungen, die er selbst aussenden kann, mit der Schwingungszahl der einwirkenden Wellen übereinstimmt. Dieser Resonator wurde nun vor der Wand so aufgestellt, daß seine Ebene gleichlaufend zur Wand stand und die Verbindungslinie des Mittelpunktes des Kreises mit der Funkenstrecke senkrecht stand zur Längsachse des Oszillators. Dann mußte die induzierte Spannung in dem ununterbrochenen Teile maßgebend sein für die darin erzeugten elektrischen Schwingungen. Es ergab sich nun, daß in unmittelbarer Nähe der Wand die Fünkchen des Resonators ausblieben, in einem gewissen Abstand an der Stelle des „Bauches", da wo die stehenden elektrischen Wellen die größte Stärke haben, am besten auftraten, bei weiterer Verschiebung am „Knoten" der Welle wieder verschwanden usw. Da nun der Abstand von zwei Knoten eine halbe Wellenlänge ergibt, so konnte die Wellenlänge durch den Versuch bestimmt werden und da man auch die Schwingungszahl aus den Abmessungen des Oszillators berechnen kann, so ließ sich daraus die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle berechnen, und es ergab sich in der Tat, daß sich die Wellen mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiteten.

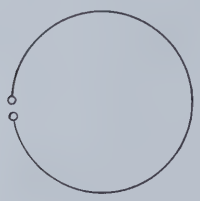


Abb. 85. Der Hertzsche Resonator.

Damit war also die Maxwellsche Theorie glänzend bestätigt, wonach sich die elektrischen Wellen mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten sollen und genau so wie Lichtwellen miteinander interferieren.

Soweit gelangt, war es Hertz ein Leichtes, zu zeigen, daß sich seine elektromagnetischen Wellen auch im übrigen wie Lichtwellen verhalten, d. h. an spiegelnden Wänden wie solche zurückgeworfen werden und an Prismen eine Brechung erfahren. Der wesentliche Unterschied gegenüber den Lichtwellen war also nur die bedeutend größere Wellenlänge, und wie die verschiedenen Farben von verschiedenen Körpern verschieden stark verschluckt werden, so war auch zu erwarten, daß diese elektrischen Wellen bezüglich der Absorption ihre eigene Gesetzmäßigkeit hatten. Sie mußten von solchen Körpern am stärksten verschluckt werden, die den elektrischen Strom am besten leiten und die elektrische Schwingungsenergie in Wärme umsetzen — das waren die Metalle — während die Nichtleiter, wie Holz, die Wellen hindurchlassen; und dementsprechend zeigte sich, daß die Wellen auch durch Türen und sogar durch Mauern hindurchtreten können.

Im Grunde handelt es sich also schon um die Möglichkeit von Zeichengebung in die Entfernung, also um eine Art drahtloser Telegraphie.

22. Elektromagnetische oder Ätherwellen aller Wellenlängen.

Spektralanalyse des ausgesandten Lichtes (Emission). Bereits im Abschnitt 11 war gesagt worden, daß uns z. B. das Prisma ein Mittel in die Hand gibt, um Licht in seine Farben, also in seine Bestandteile verschiedener Wellenlänge zu zerlegen. Bei dieser Zerlegung durch ein Prisma oder durch das weit wirksamere Beugungsgitter zeigen feste und flüssige Körper, wenn sie überhaupt eigenes sichtbares Licht ausstrahlen, also glühen, stets ein zusammenhängendes (kontinuierliches) Spektrum. Das heißt: feste und flüssige Körper strahlen im glühenden Zustande Licht aller Wellenlängen aus. Wie sich die ausgestrahlte Lichtenergie auf die einzelnen Wellenlängenbezirke aufteilt, das hängt allerdings noch von der Glühtemperatur ab. Mit steigender Temperatur verschiebt sich der Hauptanteil der ausgestrahlten Energie vom Gebiete der längeren Wellen nach kürzeren Wellenlängen (Abb. 86); dies entspricht der alltäglichen Erfahrung, daß alle Körper beim Erhitzen zunächst rotglühend werden und daß die Glutfarbe, also die Gesamtheit aller ausgestrahlten Wellenlängen mit steigender Temperatur über die Gelbglut in die Weißglut übergeht. Dieses, ein allgemeines Naturgesetz einschließende Verhalten wird als Wiensches Verschiebungsgesetz bezeichnet. Ganz anders zusammengesetzt ist das Licht, das von glühenden Gasen oder Dämpfen ausgestrahlt wird. Zerlegt man solches, aus einem feinen Spalt austretendes Licht dadurch, daß man es durch ein Prisma oder ein Beugungsgitter hindurchtreten läßt, so treten im Spektrum nur einzelne Linien (Gase), Linienbündel oder „Banden" (Dämpfe) auf, keinesfalls aber erhalten wir ein zusammenhängendes (kontinuierliches) Spektrum wie bei glühenden festen Körpern. Die Farben, genauer also die Wellenlängen der einzelnen ausgestrahlten Spektrallinien, sind für die einzelnen Grundstoffe im gasförmigen Zustand kennzeichnend, sie sind vom Druck, von der Glühtemperatur und der chemischen Bindung weitgehend unabhängig, so daß die Untersuchung des Spektrums zu Zwecken der chemischen Analyse kleinster Stoffmengen mit größtem Erfolge Anwendung finden konnte (Spektralanalyse: Bunsen und Kirchhoff). Ja, eine ganze Reihe neuer Grundstoffe konnte durch diese Spektralanalyse entdeckt und sichergestellt werden. Bekannt ist z. B. die helle gelbe

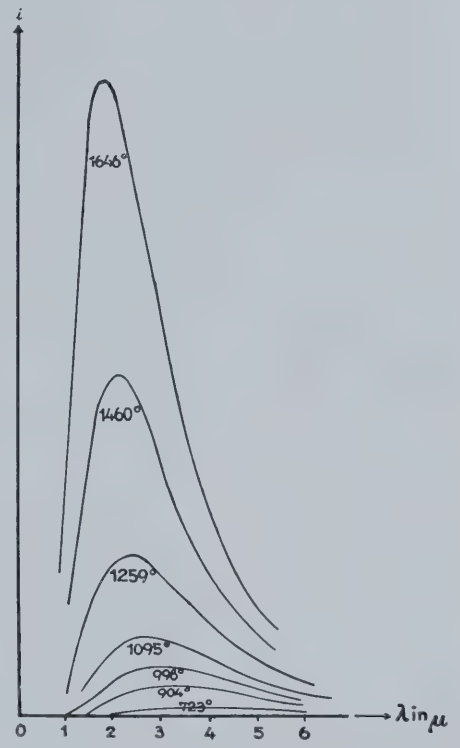


Abb. 86. Zur Strahlung des schwarzen Körpers: Abhängigkeit der Strahlungsstärke i von der Wellenlänge λ und der absoluten Temperatur $T = 273 + t^0\,C$ nach Lummer-Pringsheim.

Linie „D“ im Spektrum des Natriummetalldampfes, entsprechend der Wellenlänge $\lambda = 0{,}589\,\mu$. Man erhält sie, wenn man Kochsalz oder ein anderes Natriumsalz in die vorher nichtleuchtende Bunsenflamme bringt und sie erweist sich bei schärferer Zerlegung als eine Doppellinie.

Spektralanalyse des verschluckten Lichtes (Absorption). Noch war bisher nicht vom Sonnenspektrum die Rede. Es ist zwar im allgemeinen zusammenhängend. Bei Benutzung eines genügend feinen Spaltes läßt es aber eine Reihe von dunklen Linien erkennen, die nach ihrem Entdecker die Fraunhoferschen Linien heißen (unterste Abbildung auf Taf. I). Man pflegt die auffälligsten Linien vom roten Ende an mit großen Buchstaben von A bis H zu bezeichnen, einige schwächere dazwischen mit kleinen Buchstaben. Nun war schon bekannt, daß die im Gelben liegende dunkle Fraunhofersche D-Linie mit der hellen Natriumlinie zusammenfiel. Bei Nachprüfung dieses Befundes konnte Kirchhoff feststellen, daß die durch einen Sonnenspiegel oder Heliostaten in dem Spektralapparat entworfene D-Linie beim Anbringen einer Natriumflamme vor dem Spalt in eine helle Linie verwandelt wurde, wenn das Sonnenlicht durch eine Wolke abgeschwächt war; bei voller Sonne brachte aber die zwischengeschaltete Natriumflamme nicht eine Aufhellung, sondern eine noch stärkere Verdunkelung der Linie hervor. Dieses zunächst erstaunliche Ergebnis konnte Kirchhoff alsbald durch die Annahme erklären, das die Natriumflamme gerade diejenige Farbe besonders stark verschluckt oder absorbiert, die sie selbst aussendet. Die Flamme nahm also vom Sonnenlicht an der Stelle der D-Linie mehr Helligkeit weg, als sie selbst hinzubringt und die Spektrallinie erscheint so im Kontrast oder Gegensatz zur Umgebung umso dunkler.

Kirchhoff brachte für diesen Zusammenhang auch eine theoretische Erklärung. Hier genügt es, darauf hinzuweisen, daß es sich um eine Resonanzerscheinung handelt, wie sie bei Stimmgabeln im Abschnitt 19 besprochen wurde: Die Schwingungszahl der Eigenschwingungen im Natriumdampf stimmte eben mit der der ankommenden Schwingungen an derselben Stelle des Spektrums des Sonnenlichts überein. Sie wurden daher zur Anregung der Natriumatome verwendet und so verschluckt oder absorbiert. Dadurch war die Möglichkeit gegeben, auch durch Betrachtung von Absorptionslinien Spektralanalyse zu betreiben.

Wenn also im Sonnenspektrum dunkle Linien auftreten, so deuten sie auf einen absorbierenden Stoff, sei es in der Atmosphäre der Erde oder der Sonne. Ob das eine oder das andere vorlag, konnte man bei tieferem Sonnenstand entscheiden, wobei infolge des längeren Strahlenganges durch die Erdatmosphäre die „atmosphärischen Linien“ stärker hervortreten müssen. Da nun zudem in der irdischen Atmosphäre kein Natriumdampf vorhanden ist, so mußte geschlossen werden, daß die Sonnenatmosphäre selbst Natriumdampf enthält. Dadurch war die Möglichkeit gegeben, eine Spektralanalyse der Sonne und der Gestirne überhaupt vorzunehmen, und es ergab sich, daß die stoffliche Zusammensetzung der Sonne und vieler Fixsterne im wesentlichen dieselbe ist, wie die der Erde.

Dopplers Satz (Prinzip). Aber nicht bloß über die stoffliche Beschaffenheit der Gestirne vermag die Spektralanalyse Auskunft zu geben, sondern auch über ihren Bewegungszustand. Nach einem von dem Deutschböhmen Doppler im Jahre 1842 aufgestellten Satz ändert sich nämlich die von einem wellenaussendenden Körper zum

Beobachter gelangende Wellenzahl, wenn er gegen ihn eine Relativgeschwindigkeit längs der Verbindungslinie zwischen Körper und Beobachter besitzt: Dopplersches Prinzip. Man denke sich zunächst eine Reihe von Straßenbahnwagen, die an einem Beobachter in regelmäßiger Folge vorbeifahren. Geht er den Wagen entgegen, so wird er in der Zeiteinheit deren mehr begegnen, als wenn er auf einem festen Standpunkt verharrte. Denkt man sich jetzt die Wagen durch die Wellenberge einer Welle ersetzt, so gilt ein gleiches. Bei relativer Annäherung zwischen Wellenquelle und Beobachter wird die Zahl der ihm begegnenden Wellen erhöht, bei einer Entfernung vermindert erscheinen. Am leichtesten ist dieses Ergebnis bei Schallwellen zu prüfen. Die Tonhöhe des Klingelzeichens eines Straßenbahnwagens springt in dem Augenblick nach unten um, wo der Beobachter auf einem entgegenfahrenden Wagen daran vorbeifährt. Ähnliches gilt auch vom Licht, nur wird die Änderung seiner Schwingungszahl oder Farbe verhältnismäßig klein sein, weil die Geschwindigkeit der strahlenden Körper im allgemeinen gering ist gegenüber der Lichtgeschwindigkeit. Mit den Hilfsmitteln der heutigen genauen Spektralapparate ist aber die Farbänderung in der Gestalt einer Verschiebung der Spektrallinien der Gestirne doch bemerklich. Man war so imstande, ihre Relativgeschwindigkeit gegen die Erde in der Sehrichtung oder dem „Visionsradius" zu messen. Dieses Verfahren ist in der Hand des Astronomen ein außerordentlich wichtiges Hilfsmittel geworden zur Erforschung der Bewegungsvorgänge in der Sternenwelt.

Ultrarote oder überrote Wellen. Es ist nun die Frage, ob das Sonnenspektrum und das Spektrum der weißstrahlenden Körper überhaupt im Roten und Violetten tatsächlich oder nur durch die Beschränktheit unseres Farbsinnes bedingte Enden hat.

Da wies nun schon Herschel im Jahre 1800 nach, daß ein geschwärztes Thermometer, das man im Spektrum entlang führt, jenseits des sichtbaren Rot nicht aufhört sich zu erwärmen, ja es zeigte im Gebiet außerhalb der Sichtbarkeitsgrenze sogar zunächst noch eine stärkere Erwärmung. Damit war das Vorhandensein der ultraroten oder überroten Strahlen nachgewiesen. Diese Strahlen wurden anfangs als etwas besonderes, als eine Art Wärmestrahlung aufgefaßt, doch erwies es sich, daß sie sich von den Lichtstrahlen durch nichts weiter unterscheiden, als durch ihre größere Wellenlänge. Auch diese ultraroten Strahlen zeigen die Erscheinung der Zurückwerfung, Brechung, Interferenz und Polarisation genau so, wie das Licht. Der Grund aber, weshalb sie unsichtbar sind, liegt lediglich am Unvermögen des Auges, sie wahrzunehmen.

Die ultraroten Strahlen wurden mit der Zeit immer gründlicher untersucht und man benutzte dazu immer empfindlichere Instrumente, z. B. das Thermoelement oder das „Bolometer", das die Eigenschaft der Metalle benutzt, durch Erwärmung ihren Leitungswiderstand zu verändern. Da man nun außerordentlich empfindliche Galvanometer gebaut hat, so gelang es, indem man sehr dünne Platinfolien schwärzte, so empfindliche Thermometer zu bauen, daß sie bereits 1 millionstel Grad Celsius Erwärmung anzeigen. Mit derartigen Hilfsmitteln gelang es schließlich, das Ultrarot immer weiter zu erforschen und mit außerordentlich empfindlicher Anordnung vermochte Rubens bis zu Wellenlängen von etwa $^1/_2$ mm vorzudringen. Damit hat man bereits einen Anschluß gefunden an die elektrischen Wellen; denn mit der Zeit gelang es auch dort, immer kleinere Wellen zu

erzeugen; so hat z. B. W. Möbius die Andeutung von elektrischen Wellen bis zu ein Zehntel Millimeter gefunden, allerdings nur in Form von Oberschwingungen.

Ultraviolette oder überviolette Wellen. Auch nach kleinen Wellen hin gelang es eine neue Strahlung nachzuweisen und zwar zum erstenmal Ritter im Jahre 1801. Diese Strahlung hat man entsprechend den ultraroten als ultraviolette oder überviolette bezeichnet. Eine Schwierigkeit, in das Gebiet einzudringen, lag darin, daß die meisten Körper diese Strahlen außerordentlich stark verschlucken oder absorbieren. Es hat sich aber erwiesen, daß sie durch Quarz, Kalkspat oder Flußspat verhältnismäßig leicht hindurchdringen, und so brauchte man bloß Quarzlinsen und Quarzprismen zu benutzen, um das Licht sichtbar zu machen. Das Auge selbst kann ein wenig in das Gebiet der ultravioletten Strahlen eindringen, wenn man die sichtbaren Strahlen genügend abblendet. Darüber hinaus kann man diese Strahlen aber auch dadurch nachweisen, daß man in ihren Weg fluoreszierende oder phosphoreszierende Körper bringt, die in diesem Gebiete aufleuchten, z. B. einen Bariumplatincyanürschirm. Auch die photographische Platte ist ein ausgezeichnetes Hilfsmittel zum Nachweis dieser Strahlung. Mit gewöhnlichen Hilfsmitteln konnte man so leicht bis zu Wellenlängen von etwa 180 $\mu\mu$ vordringen. Für Strahlen darüber hinaus hat, wie Viktor Schumann in Leipzig zeigte, die Luft und auch die Gelatine der photographischen Platte ein so großes Absorptionsvermögen, daß sie der weiteren Untersuchung Halt gebieten. Schumann ging deshalb dazu über, einen Spektrographen in den luftleeren Raum zu bringen und photographische Platten zu verwenden, bei denen die Gelatine vermieden war, bzw. nur dazu diente, um lichtempfindliche Salze auf einer Glasplatte festzukleben. Durch Verfahren dieser Art gelang es Schumann bis zu einer Wellenlänge von 122 $\mu\mu$, Lyman bis zu 51 $\mu\mu$ und neuerdings Millikan bis zu 13 $\mu\mu$ vorzudringen.

Wellen der Röntgen- und γ-Strahlen. Strahlungen noch kleinerer Wellenlängen sind durch die aufsehenerregenden Entdeckungen von Röntgen bekannt geworden. Wie diese Strahlen erzeugt werden, soll in Abschnitt 29 besprochen, werden. Hier genügt es festzustellen, daß auch sie durch einen Bariumplatincyanürschirm und die photographische Platte nachgewiesen werden können.

Lange Zeit aber blieb es unklar, was die Röntgenstrahlen überhaupt seien. Ihre Verwandtschaft mit dem Licht verbarg sich dadurch, daß es anfangs nicht gelang, auch nur die geringste Brechung dieser Strahlen nachzuweisen. Zunächst vermochte Marx in Leipzig, die Geschwindigkeit der Röntgenstrahlen zu messen, und er fand sie gleich Lichtgeschwindigkeit, wodurch nahegelegt wurde, daß sie den Lichtstrahlen verwandt sind.

Am meisten konnte man noch hoffen, die Beugungserscheinungen der Röntgenstrahlen zu benutzen, um ihre Wellennatur zu erweisen. Man versuchte es zunächst mit engen Bleispalten aber die entstandene Beugungserscheinung war außerordentlich schwach; immerhin glaubte man eine Wellenlänge von der Ordnung 0,04 $\mu\mu$ daraus erschließen zu können. Nach dem, was oben bei der Besprechung der Beugung durch enge Spalte und Gitter auseinandergesetzt wurde, ist die Größe der Ablenkung der gebeugten Strahlen abhängig von der Kleinheit der Spalte. Wenn nun die Wellenlänge unter 1 millionstel Millimeter lag, so mußte man auch Gitter benutzen, deren Abmessungen nicht viel größer sein durften. Solche aber herzustellen ist un-

möglich. Da kam Laue auf den Gedanken, natürliche Beugungsgitter zu benutzen. Schon lange hatte die Mineralogie sich genötigt gesehen, anzunehmen, daß ein Kristall aufgebaut sei aus kleinsten Bausteinen, den Molekeln oder Atomen, die in regelmäßigem Abstand voneinander angeordnet sind. Als daher Laue, gemeinschaftlich mit Knipping und Friedrich die Röntgenstrahlen durch Kristalle hindurchtreten ließ, beobachteten sie deutliche Beugungserscheinungen (Abb. 87).

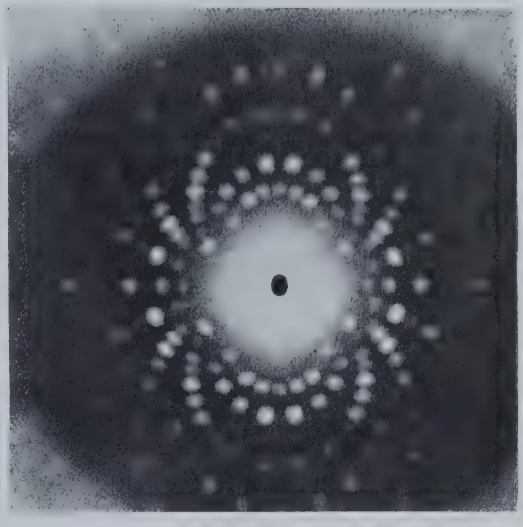


Abb. 87. Röntgenbeugungsbild an Anhydrit (wasserfreier schwefelsaurer Kalk), von Rinne aufgenommen.

Auf diesen Beugungsbildern nach Laue gewahrt man eine Reihe von kleinen Flecken, die im Schnittpunkt von Kegelschnitten liegen, Parabeln, Hyperbeln, Ellipsen, Kreis und Gerade. Aus der Entfernung dieser Flecke von der Mitte des Bildes kann man die Wellenlänge berechnen, wenn man die Engigkeit des Kristallgitters kennt. Dieses läßt sich aus dem spezifischen Gewicht des Kristalls und der Zahl der in der Masseneinheit enthaltenen Molekeln berechnen. Auf diese Weise konnte man feststellen, daß den Röntgenwellen eine Länge zukommt von nur rund 1 $\mu\mu$ bis herab zu etwa 0,02 $\mu\mu$. Dabei benutzt man nach dem Vorgehen der beiden Bragg und de Broglies 1913 Vorrichtungen, die ähnliches leisten wie der oben beschriebene Spektralapparat und das „Röntgenspektrum" enthüllen. Neben einem zusammenhängenden „Bremsspektrum", das durch die Bremsung der Kathodenstrahlen an der Antikathode (Abschnitt 29) entsteht, beobachtete man „charakteristische Serienspektra", die kennzeichnend sind für das Metall, aus dem die Antikathode besteht und die wieder in eine Reihe von Linien oder „Serien" zerlegt werden können. Wellenlängen bis herab zu 0,007 $\mu\mu$ ergeben die den Röntgenstrahlen verwandten γ-Strahlen des Radiums (Abschnitt 29).

Abb. 88. Das Spektrum aller Wellenlängen.

Es besteht somit nur noch ein ganz kleiner Zwischenraum zwischen 1 und 13 millionstel Millimeter, in welchem man Wellenlängen bisher noch nicht gemessen hat. Im ganzen kann man also sagen, daß wir elektromagnetische Strahlungen kennen von beliebig großer Wellenlänge, wie sie durch elektrische Schwingungen hergestellt werden, über die überroten Strahlen, die sichtbaren Strahlen, die übervioletten

Strahlen bis zu den kleinsten Wellenlängen der Röntgen- und γ-Strahlen. Sie alle haben im leeren Raum die gleiche Geschwindigkeit von 300000 km in der Sekunde. Sie unterscheiden sich voneinander nur durch die Größe ihrer Wellenlängen. Wenn ihr Verhalten im einzelnen so verschieden erscheint, so ist das bedingt durch die Verschiedenheit im Verhalten der Körper gegen sie, vor allem bei Absorption und Brechung. Übrigens ist es neuerdings gelungen, ganz geringe Spuren von Brechung bei den Röntgenstrahlen nachzuweisen.

Abb. 88 gibt eine Übersicht über das Spektrum aller Wellenlängen. Es sind dabei die Schwingungszahlen in Oktaven aufgetragen. Die elektrischen Wellen umfassen deren beliebig viele, das Ultrarot rund 9 Oktaven, das sichtbare Spektrum rund eine, das Ultraviolett rund 5, es folgt ein unerforschtes Gebiet von etwa $3^1/_2$ Oktaven, dann kommen die Röntgenwellen mit 6 und schließlich die Wellen der γ-Strahlen mit etwa $1^1/_2$ Oktaven.

III. Die kleinsten selbständigen Stoffgebilde. Molekeln, Atome, Ionen und Elektronen.

23. Allgemeine Molekularphysik.

Die Annahme, daß alle Körper aus kleinsten, selbständigen unteilbaren Teilchen, den Atomen bestehen, geht bereits auf Demokrit zurück. Aber erst über 2000 Jahre später erfuhr diese Annahme durch Dalton eine tiefere Begründung.

Es waren in erster Linie die Entdeckungen der Chemie, die zu dieser Vorstellung zwangen. Es hatte sich herausgestellt, daß alle Stoffe aus einer verhältnismäßig kleinen Zahl von Elementen oder Grundstoffen zusammengesetzt sind, und daß das Verhältnis der Gewichte, in denen die Grundstoffe in den Verbindungen vorkommen, entweder unveränderlich ist oder sich durch das Verhältnis kleiner ganzen Zahlen ausdrücken läßt, — Gesetze der „Konstanz der Verbindungsgewichte" und der „multiplen Proportionen". Diese Ergebnisse ließen sich am einfachsten so deuten, daß man annahm, die kleinsten Teile eines Grundstoffes, die Atome, haben ein unveränderliches Gewicht und treten zu Verbindungen zusammen, wobei jeder Grundstoff entweder nur durch ein oder durch mehrere Atome vertreten sein kann. Auch diese Verbindung tritt in kleinsten Teilchen auf, den Molekeln, so daß also jede Molekel im allgemeinen aus verschiedenen Atomarten besteht, wobei jede Atomart mehrfach vorkommen kann.

Molekularkräfte bei festen Körpern. Schon das einfachste Verhalten eines festen Körpers ist schwer mit der Vorstellung vereinbar, daß er durchaus zusammenhängend sei und in jedem kleinsten Raum dieselbe Beschaffenheit aufweise. Wenn man z. B. einen Metalldraht an der Decke fest aufhängt und unten mit einem leichten Gewicht beschwert, damit er sich gerade streckt, so wird man finden, daß er seine Länge vergrößert, sobald man ein größeres Gewicht anhängt und die Verlängerung ist verhältig dem angehängten Gewicht.

Nimmt man die ziehenden oder pressenden Gewichte wieder weg, so kehrt das Metall im allgemeinen wieder in seine alte Form zurück und zu seinem alten Raum-

inhalt. Diese Erscheinung ist schwer vereinbar mit der Annahme einer vollkommen stetigen Raumerfüllung. Vielmehr wird sie erst verständlich, wenn man annimmt, daß die kleinsten Teile des Metalls voneinander getrennt sind, aber unter dem Einfluß äußerer Kräfte ihre gegenseitige Lage ändern, so daß sie durch Druck weiter zusammengedrängt, durch Zug weiter auseinander gezogen werden. Die Kräfte des Zusammenhaltes sind etwas ganz anderes als die Schwerkraft. Vielmehr muß man dazu besondere Kräfte, die Molekularkräfte annehmen. Es wird sich später zeigen, daß alle diese Molekularkräfte in letzter Hinsicht auf elektrische Kräfte zurückgeführt werden können.

Die Größe der Kräfte des Zusammenhaltes wird von dem Physiker gekennzeichnet durch die „Elastizitätskonstante". Sie ist dasjenige Gewicht, welches an einem Draht von 1 qmm Querschnitt angehängt werden müßte, um seine Länge zu verdoppeln, vorausgesetzt, daß er vorher nicht zerriß.

Abb. 89. Formänderung eines Stabes bei starker Überschreitung der Elastizitätsgrenze.

Abb. 90. Wassertropfen beim Ausfluß aus enger Röhre.

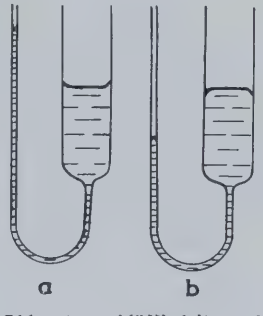


Abb. 91. Flüssigkeiten in Haarröhren. *a* = Wasser, *b* = Quecksilber.

Bei Verwendung kleiner ziehender Gewichte wird der Draht nach Wegnahme des Gewichtes stets in seine alte Lage zurückkehren, während es für zunehmende Gewichte dafür eine Grenze gibt. Wird die alte Lage nicht wieder erreicht, so sagt man, die Elastizitätsgrenze sei überschritten. Bei weiter zunehmenden Gewichten wird der Draht dann seine Form dauernd ändern, so wie es Abb. 89 zeigt, d. h. er wird an der gerade schwächsten Stelle eine Einschnürung erfahren. Steigert man das Gewicht noch weiter, so wird der Draht schließlich zerreißen. Unter Zerreißfestigkeit oder Tragkraft versteht man dabei das größte Gewicht in Kilogramm, mit dem man den Querschnitt von 1 qmm belasten dürfte, ohne daß der Draht zerrisse.

Molekularkräfte bei Flüssigkeiten. Während nun feste Körper die Eigenschaft haben, bei Einwirkung irgendwelcher formändernder Kräfte nach deren Wegfall wieder in die ursprüngliche Lage zurückzukehren, besitzen Flüssigkeiten diese Eigenschaft nicht. Dagegen kommt den Flüssigkeiten auch Volum- oder Raumelastizität zu, d. h. sie vermindern bei einwirkenden Drucken ihren Rauminhalt, nehmen aber nach deren Wegfall den früheren wieder ein. Freilich ist die Zusammendrückung dabei im allgemeinen außerordentlich geringfügig. Das Wasser ändert z. B. bei Zunahme des Druckes um 1 Atmosphäre seinen Rauminhalt nur um 49 Millionstel des ursprünglichen, Quecksilber sogar nur um 4 Millionstel.

Die Flüssigkeiten zeigen aber nicht nur die Fähigkeit, einem Druck zu widerstehen, sondern auch einem Zug. Dies erkennt man, wenn man etwa Wasser langsam aus einer unten offenen engen Röhre austreten läßt. Dann bildet sich ein Tropfen, wie in Abb. 90 dargestellt ist. Er verhält sich so, als ob er von einer elastischen Haut umgeben wäre, die eine gewisse Spannung aushalten kann, die man als Oberflächenspannung bezeichnet. Sie bewirkt, daß benetzende Flüssigkeiten, wie z. B. Wasser in Haarröhrchen oder kapillaren Röhren aufsteigen (s. Abb. 91a), nicht benetzende dagegen, wie z. B. Quecksilber, heruntergedrückt werden (s. Abb. 91b).

Die Wärme als Molekularbewegung. Nun tritt die Frage auf, wie ein fester Körper unter Wärmezufuhr schmelzen und eine Flüssigkeit sich in Dampf verwandeln kann und welche Vorstellungen man sich daher von der Natur eines festen Körpers, einer Flüssigkeit und eines Dampfes oder Gases zu machen hat.

Diese Frage läßt sich nicht beantworten, wenn man nicht zuvor versucht, sich eine Vorstellung von der Natur der Wärme zu machen, insbesondere davon, in welcher Weise mechanische Energie in Wärmeenergie umgesetzt wird. Es wurde früher gezeigt, daß es zwei Arten mechanischer Energie gibt, nämlich Energie der Lage und Energie der Bewegung, die beide ineinander überführbar sind. Wenn aber ein gehobener Körper herunterfällt und schließlich am Boden zur Ruhe kommt, was ist dann aus seiner Energie geworden?

Zur Erläuterung denke man sich zwei Züge auf demselben Gleis in entgegengesetzter Richtung aufeinanderfahren, ohne zu entgleisen. Der in einiger Entfernung aufgestellte Beobachter wird nichts weiter sehen, als daß die beiden bewegten Züge zur Ruhe gekommen sind. Ein Fahrgast der Züge wird dagegen bemerken, daß beim Zusammenstoß alles Bewegliche zu wackeln beginnt, daß die Gepäckstücke herunterfallen usf. Also die Bewegungsenergie des Zuges hat sich in Bewegungsenergie seiner Bestandteile umgesetzt.

In ähnlicher Weise hat man sich vorzustellen, daß die Bewegungsenergie des nach dem Falle zur Ruhe gekommenen Körpers in Bewegungsenergie seiner kleinsten Teile, also seiner Molekeln umgesetzt wird. Diese werden also um ihre Gleichgewichtslage herum lebhafte Schwingungen ausführen, und da wir wissen, daß der Körper dabei seine Temperatur erhöht, so drängt sich die Ansicht auf, daß die Temperatur bedingt ist durch die Bewegungsenergie der Molekeln. Nur beim absoluten Nullpunkt, d. h. bei -273^0 C, wird diese Energie verschwinden und die Molekeln und Atome werden feste Gleichgewichtslagen einnehmen. Mit zunehmender Temperatur werden die Molekeln immer stärkere Schwingungen um die Gleichgewichtslage herum ausführen, bis schließlich diese Bewegung so stark wird, daß einzelne Molekeln ihre Gleichgewichtslage verlassen und sich in neue Gleichgewichtslagen begeben. Zuletzt wird es überhaupt keine Gleichgewichtslage mehr geben, sondern die Molekeln bewegen sich fortwährend durcheinander, ohne sich im Mittel in einen wesentlich anderen Abstand voneinander zu begeben, als sie ihn im festen Körper besaßen. Der feste Körper ist jetzt geschmolzen und hat sich in eine Flüssigkeit verwandelt.

Noch wirken aber die Kräfte der Anziehung der Teilchen aufeinander. Man sagt, die Flüssigkeit habe Zusammenhalt oder Kohäsion, und das ist die Kraft, die die

Oberflächenspannung bedingt. Erwärmt man nun die Flüssigkeit mehr und mehr, so werden die Molekeln an Bewegungsenergie immer mehr gewinnen und die Flüssigkeit zum Teil verlassen, um in den darüber liegenden leeren Raum zu fliegen, wo sie einen weit größeren Abstand voneinander gewinnen, als sie ihn vorher besaßen. So kommen sie aus dem Bereich der Molekularkräfte heraus, und da ein Körper, auf den keine Kräfte mehr wirken, sich mit gleichbleibender Geschwindigkeit bewegt, so müssen sie sich so lange mit gleichbleibender Geschwindigkeit bewegen, bis sie entweder aufeinander, oder an die Wand anstoßen.

Das ist also die Vorstellung, die wir von einem Gas gewinnen. Es besteht aus einem Schwarm lebhaft durcheinander bewegter Molekeln. Je größer der Abstand der Molekeln wird, um so mehr verliert sich die Eigenschaft des Zusammenhaltens, der Kohäsion, und wenn sie vollständig aufgehoben ist, spricht man von einem idealen Gase.

24. „Kinetische Gastheorie."

Durch die Auseinandersetzungen des letzten Abschnittes haben wir bereits die Grundvorstellungen der sogenannten kinetischen Gastheorie kennen gelernt. Denkt man sich (Abb. 920) 1 cbm eines im Wärmegleichgewicht mit der Umgebung stehenden Gases, in dem sich N Molekeln befinden, so kann man sich der Einfachheit halber diese Gesamtzahl N in drei gleiche Teile zerlegt denken, wovon ein Drittel in waagrechter Richtung von rechts nach links, das zweite Drittel in waagrechter Richtung von vorn nach hinten und das dritte Drittel in senkrechter Richtung von oben nach unten und den jeweils umgekehrten Richtungen sich bewegen mögen. Eine Molekel, die auf die Wand aufstößt, wird senkrecht von ihr zurückgeworfen mit der gleichen Geschwindigkeit, die es vorher besaß. Dabei ist Voraussetzung, daß die Wand die gleiche Temperatur hat wie das Gas. Würde die Geschwindigkeit sich beim Stoß verändern, so würde das ja heißen, daß die Energie des Gases sich verändert, während wir annahmen, daß es sich im Temperaturgleichgewicht mit der Wand befände. Auch beim Stoß der Molekeln gegeneinander soll im Mittel keine Energie der fortschreitenden Bewegung verloren gehen, was soviel heißt, als daß sie sich im wesentlichen wie vollständig elastische Körper verhalten.

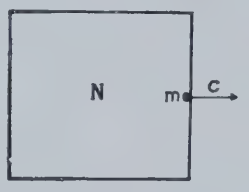


Abb. 92.
Zur kinetischen Gastheorie: Stoß einer Molekel gegen die Wand des cbm, das N-Molekeln enthält.

Dies vorausgesetzt, wird eine Molekel von der Masse m beim elastischen Stoß auf die Wand eine Geschwindigkeitsänderung 2 c erfahren, also die Bewegungsgröße 2 m c an die Wand abgeben. Da die Molekel nach Zurücklegung von 2 Metern zur alten Wand wieder zurückkehrt und in 1 Sekunde c Meter zurücklegt, so wird die Molekel c/2 Stöße in der Sekunde ausführen. In 1 Sekunde wird also die Molekel die Bewegungsgröße $2\,m\,c \cdot c/2 = m\,c^2$ an die Wand abgeben. Da nun N/3 Molekeln sich senkrecht zueiner Wand bewegen, so ist die im ganzen in 1 Sekunde abgegebene Bewegungsgröße gleich $^1/_3\,N\,m\,c^2$, und das ist nichts anderes als der Druck, der auf die Wand ausgeübt wird; denn der Druck ist die auf die Flächen-

einheit ausgeübte Kraft, die man eben durch die in 1 Sekunde wirksame Bewegungsgröße ausdrücken kann.

Damit ist zugleich das Mariottesche Gesetz erklärt. Denn wenn jetzt durch einen äußeren Druck das Volumen des Gases auf die Hälfte zusammengedrückt wird, so befinden sich die N Molekeln im halben Volumen, so daß sich die Zahl der Stöße verdoppelt und somit auch der Druck doppelt so groß wird.

Nun bedeutet N m nichts anderes als die Masse des Gases in der Volumeinheit, d. h. seine Dichte d. Mithin kann man die Formel auch schreiben: $p = \frac{1}{3} d c^2$. Da man nun d und p kennt, so kann man c daraus berechnen. Dann ergibt sich diese Geschwindigkeit für Luft bei 0^0 C im Mittel zu 485 m/sec. Sie ist demnach größer als die des Schalles und man begreift, daß ein Gas von verhältnismäßig geringer Dichte doch einen beträchtlichen Druck auszuüben vermag.

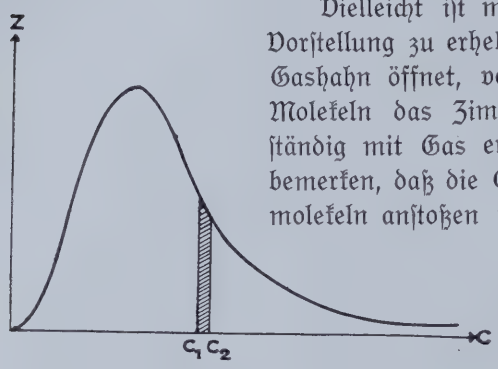


Abb. 93. Maxwellsches Verteilungsgesetz. c = Geschwindigkeit der Molekeln.

Vielleicht ist man geneigt, ein Bedenken gegen diese Vorstellung zu erheben, weil, wenn man im Zimmer einen Gashahn öffnet, vermöge der großen Geschwindigkeit der Molekeln das Zimmer im Bruchteil einer Sekunde vollständig mit Gas erfüllt sein müßte. Dagegen ist aber zu bemerken, daß die Gasmolekeln in Wirklichkeit an die Luftmolekeln anstoßen und zum Teil wieder zurückprallen, so daß sie sich nur sehr allmählich ihre Bahn durch die Luftmolekeln hindurch schaffen können. Diesen Vorgang bezeichnet man als Diffusion, und gerade die Erscheinung der Diffusion hat einen neuen Beweis für die Richtigkeit dieser Vorstellung erbracht.

Bisher hatten wir nur von der mittleren Bewegungsenergie der Molekeln gesprochen. Keineswegs besitzen alle Molekeln dieselbe Geschwindigkeit. Hätten selbst alle Molekeln ursprünglich die gleiche Geschwindigkeit, so würde sich durch die Stöße allmählich eine Veränderung einstellen, und es fragt sich, welches diejenige Verteilung der Geschwindigkeiten auf die einzelnen Molekeln ist, damit sie durch die Stöße im ganzen genommen keine Veränderung erfährt. Diese nicht sehr einfache mathematische Aufgabe ist von Maxwell und Boltzmann gelöst worden. Das Ergebnis zeigt Abb. 93. Als Abschnitte sind die Geschwindigkeiten c der Molekeln aufgetragen, als Zugeordnete eine Größe Z, welche die Zahl der Molekeln kennzeichnet, in der Weise, daß die schraffierte Fläche die Zahl derjenigen Molekeln angibt, die eine Geschwindigkeit zwischen c_1 und c_2 besitzen.

Man sieht, daß mittlere Geschwindigkeiten am häufigsten vorkommen und die Zahl der Molekeln, die bedeutend größere oder kleinere Geschwindigkeiten besitzen, um so geringer ist, je mehr sich diese Geschwindigkeiten von der mittleren entfernen.

Wann haben nun zwei Gase die gleiche Temperatur? Schon unsere Ausgangsgleichung $p = \frac{1}{3} N m c^2$ weist den Weg. Wenn man nämlich mit n die Zahl der Molekeln in der Masseneinheit bezeichnet, deren Raum (Volumen) gleich v sei, so ist $n = N \cdot v$, da ja N die Zahl der Molekeln in der Raumeinheit bedeutete. Daraus

folgt: $p = n m c^2/3 v$, oder $p v = {}^1/_3 n m c^2$. Nun war nach Abschnitt 8 die Zustandsgleichung eines idealen Gases: $p v = R \cdot T$, worin T die absolute Temperatur und R eine für ein bestimmtes Gas unveränderliche Größe bezeichnete. Demnach wird ${}^1/_3 n m c^2 = R \cdot T$ und die Bewegungsenergie einer Molekel wird: ${}^1/_2 m c^2 = 3 R T/2 n$, d. h. sie ist der absoluten Temperatur verhältig. Kann demnach allgemein die Bewegungsenergie der Molekeln als Maß der absoluten Temperatur gelten? Das wäre nur dann der Fall, wenn zwei verschiedene Gase bei gleicher Bewegungsenergie der Molekeln auch gleiche Temperatur hätten. Das Kennzeichen für gleiche Temperatur zweier Körper, die nicht chemisch aufeinander wirken, ist aber das, daß sie bei Berührung keinen Energieaustausch erfahren. Nun haben Maxwell und Boltzmann durch Rechnung festgestellt, daß zwei zusammengebrachte Gase dann keinen Energieaustausch zeigen, wenn die Energie der fortschreitenden Bewegung ihrer Molekeln die gleiche ist. Die oben gestellte Frage ist also mit ja zu beantworten: Die Energie der Molekularbewegung eines Gases ist ein Maßstab für seine absolute Temperatur.

Haben nun zwei Gase zu gleicher Zeit gleiche Rauminhalte, gleichen Druck und gleiche Temperatur, so muß sowohl der Ausdruck $N m c^2$ als auch $m c^2$ trotz verschiedener Werte m und c doch für beide Gase der gleiche sein, und das ist nur der Fall, wenn N, d. h. die Zahl der Molekeln in der Raumeinheit bei beiden Gasen die gleiche ist. Und damit haben wir das Avogadrosche Gesetz gewonnen, das sich als eine der wichtigsten Grundlagen der Lehre von den Molekeln bewährt hat:

Alle Gase enthalten bei gleichem Druck und gleicher Temperatur in gleichen Räumen die gleiche Zahl von Molekeln.

Daraus läßt sich u. a. der wichtige Schluß ziehen, daß die Molekel Wasserstoff aus zwei Atomen besteht. Denn wenn man einen Raumteil Wasserstoff mit einem gleichen Raumteil Chlor bei so hoher Temparatur zu Chlorwasserstoff vereinigt, daß dieser dampfförmig bleibt, so tritt keine Zusammenziehung des Raumes ein, was eben nur möglich ist, wenn sowohl die Wasserstoff- als auch die Chlormolekel aus zwei Atomen besteht.

Es gibt indes auch Gase und Dämpfe, deren Molekeln nur aus einem Atom bestehen, z. B. die Edelgase und Metalle.

Ähnlich wie die Erscheinung der Diffusion, die vorhin besprochen wurde, kann man auch die Erscheinung der Wärmeleitung und Reibung in Gasen betrachten. Wenn in einer Röhre ein Temperaturgefälle vorhanden ist, so werden die Gasteilchen an der wärmeren Stelle eine größere Geschwindigkeit besitzen, als an der kälteren, und sie werden allmählich nach der kälteren Stelle hin diffundieren. Auf diese Weise kommt die Wärmeleitung in Gasen zustande.

Denkt man sich ferner, daß der Teil eines Gases längs einer Grenzfläche gegen ruhendes Gas bewegt ist, so werden vermöge der Molekularbewegung Teilchen aus der bewegten Schicht in die unbewegte übergehen und diese allmählich auch in Bewegung versetzen. Dadurch kommt dann die Reibung eines Gases in sich selbst zustande, was der Physiker als innere Reibung bezeichnet.

Gerade bei den Erscheinungen der Reibung hat die Gastheorie eine überraschende Bestätigung gefunden. Man sollte denken, daß die Reibung in einem halb so dichten Gas halb so stark sei. Es ist dabei aber zu beachten, daß neben der Zahl

der Molekeln, die in der Volumeinheit vorhanden sind, auch noch der Weg eine Rolle spielt, den die Teilchen im Mittel zurücklegen, ohne an ein anderes anzustoßen. Man bezeichnet diesen Weg als die molekulare Weglänge. Je größer sie ist, um so tiefer wird also ein Teilchen aus der bewegten Schicht in die unbewegte übertreten können, um so stärker wird also die Reibung sein. Da die molekulare Weglänge bei halber Dichte des Gases doppelt so groß ist, so wird aus diesem Grunde die Reibung von Druck und Dichte unabhängig sein.

Selbstverständlich muß die Reibung bei vollständiger Leere verschwinden. In der Tat ist eine Grenze für jene Unabhängigkeit gesetzt in dem Augenblick, wo die molekulare Weglänge die Abmessung des Gefäßes annimmt. Da nun die molekulare Weglänge bei Luft unter dem Vergleichszustand von 0° C und 760 mm Druck rund $^1/_{10\,000}$ mm ist, so wird bei dem Druck von 1 Millionstel Atmosphären die molekulare Weglänge bereits 100 mm oder 10 cm betragen. In Gefäßen von solchen Abmessungen wird daher das obige Reibungsgesetz seine Geltung verlieren.

Teilt man die Geschwindigkeit der Molekel durch ihre mittlere Weglänge, so erfährt man ihre Stoßzahl in der Sekunde. Sie beträgt für Luft unter dem Vergleichszustand (Normalzustand bei 0° C und 760 mm Druck) rund 5 Milliarden.

Auch für das Verhalten der spezifischen Wärme hat die Gastheorie wichtige Aufschlüsse gebracht. Da nämlich in gleichen Räumen die gleiche Zahl von Molekeln vorhanden ist und die Zunahme der Bewegungsenergie der Molekeln für alle Gase die gleiche sein muß bei gleicher Temperaturerhöhung, so müssen zwei Gase gleich viel Wärme verbrauchen bei Erwärmung um 1° C, wenn ihre Massen sich wie die Molekulargewichte verhalten. Bei gleichen Massen wird die zuzuführende Wärme also dem Molekulargewicht umgekehrt verhältig sein, d. h. die spezifischen Wärmen verhalten sich umgekehrt wie die Molekulargewichte oder das Vielfache aus spezifischer Wärme und Molekulargewicht, die sogenannte „Molekularwärme" ist die gleiche. Dieses Gesetz darf allerdings nur benutzt werden beim Vergleich von Gasen gleicher Art der Zusammensetzung, d. h. bei gleicher Zahl der in seinen Molekeln enthaltenen Atome.

Ein Gesetz ähnlicher Art war bereits zu Beginn des 19. Jahrhunderts von Dulong und Petit aufgestellt worden, das besagt, daß die Atomwärme der Elemente annähernd gleich groß, nämlich gleich rund 6 ist.

Es ist sogar gelungen, die Geschwindigkeit der Molekeln, bzw. Atome selbst zu messen, und zwar im leuchtenden Zustand. Nach dem „Dopplerschen Prinzip" — Abschnitt 22 — müssen nämlich diejenigen Atome des leuchtenden Dampfes, die sich gerade auf den Beobachter hin bewegen, eine etwas nach Violett verschobene Linien aufweisen, die in entgegengesetzter Richtung bewegten nach Rot. In zwischenliegenden Richtungen ist der Geschwindigkeitsanteil in der Sehrichtung ein kleinerer und dementsprechend die Linienverschiebung. Die Spektrallinie muß daher im ganzen nach beiden Seiten etwas verwaschen erscheinen. Michelson hat durch ein sehr empfindliches Verfahren diese Verbreiterung nachgewiesen und mit der Theorie in Übereinstimmung gefunden.

Die kinetische Gastheorie hat sich nicht damit begnügt, allgemeine Gesetze abzuleiten, sie hat auch die Abmessungen der Molekeln und ihre Zahl in der Raumeinheit kennengelehrt. Diese Zahl ist zum ersten Male von Loschmidt berechnet

worden und heißt nach ihm die Loschmidtsche Zahl. Genauer gesagt gibt sie die Zahl der Molekeln in einem Kubikmeter an für ein ideales Gas bei 0^0 C und 760 mm Barometerstand.

Es wurde vorhin erwähnt, daß die molekulare Weglänge einen Einfluß auf die Reibung hat, und so gelingt es auch, sie aus den Reibungserscheinungen abzuleiten. Teilt man die Volumeinheit des Raumes in N gleiche Teile, so erhält man den Raum, der zwischen zwei Stößen von einer Molekel durchschritten wird, bzw. in den eine andere Molekel nicht eindringen kann. Bei Annäherung zweier Molekeln aneinander bis zur Berührung wird der Abstand der Mittelpunkte gleich dem doppelten Halbmesser, d. h. gleich dem Durchmesser d. Wenn man die Molekeln der Einfachheit als kugelförmig voraussetzt, so ist dieser Raum zu berechnen als Inhalt eines Zylinders (Abb. 94), dessen Höhe die molekulare Weglänge L und dessen Querschnitt $d^2\,\pi$ ist Mithin muß sein: $L\,d^2\,\pi = 1/N$. Für eine genauere Berechnung ist noch der Umstand zu berücksichtigen, daß, während eine Molekel sich bewegt, die anderen nicht stillstehen. Doch soll hier davon abgesehen werden. In diese Gleichung gehen nun noch zwei Unbekannte ein, nämlich der Durchmesser der Molekel und die Loschmidtsche Zahl N selbst. Man braucht also zur Berechnung noch eine weitere Gleichung.

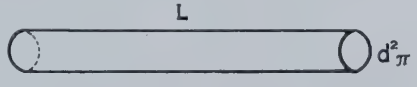


Abb. 94. Zur Loschmidtschen Zahl. Molekularer Wegraum.

Loschmidt selbst glaubte sie dadurch zu finden, daß er sich sagte, daß das Gas im verflüssigten Zustand vom Raum der Molekeln nahezu ausgefüllt wird. Wenn man also die Dichte der Flüssigkeit kennt, in die sich das Gas bei Verflüssigung verwandelt, so erhält man eine zweite Größe und eine weitere Gleichung, so daß man aus beiden die Unbekannten berechnen kann.

Offenbar erhält man auf diese Weise nur eine obere Grenze des molekularen Durchmessers, da auch bei Verflüssigung eines Gases nicht anzunehmen sein wird, daß der Raum vollständig mit Molekeln angefüllt ist.

Zum Glück gibt es noch ein genaueres Verfahren, um die molekularen Größen zu bestimmen. Man verdankt nämlich van der Waals eine Erweiterung der Zustandsgleichung der Gase. Bei idealen Gasen wird der äußere Druck genau gleich sein dem molekularen Druck, d. h. gleich dem Druck, der durch den Stoß der Molekel auf die Wand ausgeübt wird. Wenn das Gas nun allmählich zusammengedrückt und schließlich unter Verwendung tiefer Temperaturen verflüssigt wird, so muß es stetig vom gasförmigen in den flüssigen Zustand übergehen, und es wurde in Abschnitt 10 gezeigt, daß oberhalb der kritischen Temperatur der Unterschied zwischen Dampf und Flüssigkeit verschwindet. Es muß also auch eine allgemeine Beziehung geben, die Temperatur, Druck und Volumen eines Körpers verbindet, gleichgültig, ob er gasförmig oder flüssig sei.

Um diese zu finden, muß man berücksichtigen, daß bei stärkerer Zusammendrückung die Molekeln eine stärkere Anziehung aufeinander ausüben, also, wie man sich ausdrückt, einen Kohäsionsdruck erfahren, und dieser ist von dem molekularen Druck abzuziehen, um den äußeren Druck zu erhalten.

Ferner hat man zu beachten, daß der für die Bewegung verfügbare Raum nicht der Gesamtraum des Gases ist, sondern der Gesamtraum vermindert um

den Raum, den die Molekeln einnehmen. Unter Berücksichtigung dieser beiden Umstände gelang es van der Waals eine allgemeine Zustandsgleichung abzuleiten, die für den Dampf und seine Flüssigkeiten zugleich gilt, und worin neben dem Molekulargewicht nur noch zwei unveränderliche Größen oder Konstanten eingehen, aus deren einer sich der Rauminhalt aller Molekeln in einem Kubikzentimeter berechnen läßt. Man findet daraus die Loschmidtsche Zahl zu 31 Trillionen Molekeln im Kubikzentimeter. Die Physik hat neuerdings eine ganze Reihe von anderen Verfahren der Berechnung kennengelehrt, die auf Erscheinungen in den verschiedensten Gebieten der Physik beruhen und die recht gut miteinander übereinstimmen. Danach hat man die Loschmidtsche Zahl im Mittel zu 27 Trillionen anzunehmen.

Diese Zahl ist auch für die Erscheinung des Lebens nicht ohne Bedeutung. Rechnen wir z. B. einmal aus, wieviel Molekeln sich im kleinsten Lebewesen, einem Bakterium, befinden. Ein Bakterium hat einen Durchmesser von ungefähr 1 μ, d. h. $^1/_{10000}$ cm. Nehmen wir der Einfachheit halber an, daß das Bakterium gerade das Volumen von 1 cbμ einnimmt, so ist das der billionste Teil eines Kubikzentimeters. Wäre dieser Raum von einem Gas erfüllt, so würden darin also immer noch 27 Millionen Molekeln vorhanden sein. Da es aber flüssig ist, so hat man ungefähr noch einmal mit 1000 zu vervielfachen und findet so die Zahl der Molekeln eines Bakteriums zu rund 30 Milliarden. Es ist klar, daß bei einem Lebewesen, das aus soviel kleinsten Teilchen besteht, noch ungeheuer viele Möglichkeiten der Zusammensetzung übrigbleiben, und so darf es nicht verwundern, daß es so verschiedenartige Bakterien gibt, Erreger der verschiedensten Krankheiten, wie es die Erfahrungen der Biologen und Ärzte lehren.

Bei einer Gedächtnisrede auf Loschmidt hat sich Boltzmann den Scherz erlaubt, die Zahl der Molekeln zu berechnen, aus denen Loschmidt selbst bestand. Man würde sie heute für einen Mann von 75 kg zu rund 2500 Quadrillionen berechnen.

Kennt man nun die Zahl der Molekeln in der Volumeinheit eines Gases, so kann man daraus auch die Masse einer Molekel berechnen. Sie ergibt sich z. B. für die Wasserstoffmolekel zu 3,2 quadrillionstel Gramm. Die Masse des Wasserstoffatoms ist daher halb so groß.

Aus der Loschmidtschen Zahl kann man ferner auf Grund der früheren Auseinandersetzungen auch den Durchmesser der Molekeln berechnen. Man fand ihn z. B. für eine Wasserstoffmolekel zu rund 0,2 millionstel Millimeter; für eine Stickstoffmolekel zu 0,3 millionstel Millimeter.

25. Elektrolyse und Jonen.

Einen weitgehenden Aufschluß über den Aufbau allen Stoffes gestatten die Untersuchungen von Faraday über die Zersetzung leitender Flüssigkeiten, die man als „Elektrolyte" bezeichnet, durch den elektrischen Strom.

Um eine Flüssigkeit zu zersetzen, taucht man zwei metallische Leiter, z. B. Platin, hinein, die man „Elektroden" nennt. Die Elektrode, in die der positive Strom von außen eintritt, heißt die Anode, die Elektrode, durch die er austritt,

heißt Kathode (Abb. 94). Die Namen stammen aus dem Griechischen, worin ὁδός = hodós der Weg heißt und κατά = katá hinunter, ἀνά = aná hinauf. Läßt man den Strom durch angesäuertes Wasser hindurchtreten, so beobachtet man, daß an der Kathode Wasserstoff, an der Anode Sauerstoff ausgeschieden wird. Bringt man irgendwelche Metallsalze hinein, so wird an der Kathode das Metall ausgeschieden, während sich an der Anode die Reste der Verbindungen abscheiden, oder solche Stoffe, die aus zweiter Hand durch sie abgeschieden werden.

Nun stellte Faraday fest, daß die ausgeschiedenen Mengen verhältig sind der Stromstärke und der Zeit. Das Produkt von Stromstärke und Zeit bestimmt aber die durchgegangene Elektrizitätsmenge. Mithin sind die ausgeschiedenen Stoffmengen verhältig den zu gleicher Zeit abgegebenen Elektrizitätsmengen. Vergleicht man nun die Raumteile Wasserstoff und Chlor, die man aus Salzsäure abscheidet, so erweisen sie sich als einander gleich, d. h. die abgeschiedenen Mengen stehen im selben Verhältnis, in dem die Mengen sich zu einer Verbindung zusammenschließen. Ebenso findet man bei der Zersetzung des Wassers, daß an der Kathode zwei Raumteile Wasserstoff ausgeschieden werden auf 1 Raumteil an der Anode abgeschiedenen Sauerstoffs. Das ist genau wieder das Verhältnis, in dem die Atome von Wasserstoff und Sauerstoff im Wasser zusammentreten, das die Formel H_2O führt.

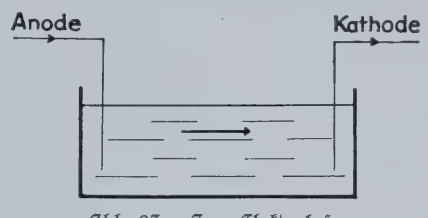


Abb. 93. Zur Elektrolyse.

Aber noch mehr. Wenn man der Reihe nach verschiedene Zersetzungszellen hintereinanderschaltet und die ausgeschiedenen Mengen miteinander vergleicht, z. B. von Wasserstoff und Silber, so findet man mit Faraday, daß diese Mengen sich verhalten, wie das Atomgewicht des Silbers zu dem des Wasserstoffs. Handelt es sich aber z. B. um die Ausscheidung von Kupfer aus Kupfersulfat mit der Formel $CuSO_4$, so findet man, daß auf 1 g Wasserstoff nur halb soviel Gramm Kupfer ausgeschieden werden, als das Atomgewicht des Kupfers angibt. Bedenkt man nun, daß das Kupfersulfat dadurch entsteht, daß ein Kupferatom zwei Wasserstoffatome aus der Schwefelsäure mit der Formel H_2SO_4 verdrängt, so kann man den allgemeinen Satz aussprechen, daß durch dieselbe Elektrizitätsmenge von verschiedenen Stoffen solche Mengen ausgeschieden werden, die einander in Verbindungen ersetzen können und die man deshalb als gleichwertig oder äquivalent bezeichnet. Nun nennt man Kupfer, weil es eben zwei Atome Wasserstoff ersetzt, chemisch zweiwertig, und so könnte man auch den Ausdruck gebrauchen: Die Verhältnisse der von gleichen Strommengen ausgeschiedenen stofflichen Mengen werden durch solche Zahlen ausgedrückt, die man erhält, wenn man das Atomgewicht durch ihre Wertigkeit teilt.

Helmholtz hat dieses Gesetz noch auf eine andere bedeutsame Form gebracht, indem er sagte, jede Bindestelle eines bei der Zersetzung ausgeschiedenen Atoms oder einer Atomgruppe nimmt dieselbe Elektrizitätsmenge mit.

Diese stets einheitlich wiederkehrende Elektrizitätsmenge verhält sich daher wie ein elektrisches Atom, dem man in der Folgezeit den Namen „Elektron" gegeben hat. Später zu erörternde Gründe zwangen zu der Annahme, daß es von der Masse chemischer Atome freie elektrische Atome nur in negativem Ladungszustand geben

könne. Ein positiv geladenes chemisches Atom geht also aus dem neutralen Zustand durch Abgabe eines negativen Elektrons hervor.

Damit kommt man zu der Frage, wie man sich die Stromleitung überhaupt vorzustellen habe. Offenbar ist es die an die Elektroden angelegte elektrische Spannung, die die Atome einer Molekel auseinandertreibt. Dies kann man nur verstehen, wenn man annimmt, daß jedes Atom mit einer gewissen Ladung behaftet ist, also z. B. in der Verbindung Wasserstoffchlorid der Wasserstoff mit positiver Ladung, der zur negativen Kathode wandert, und Chlor mit negativer Ladung, der zur positiven Anode wandert.

Grotthus hat in der Tat diese Annahme ausgesprochen. Da aber nur in Nachbarschaft der Elektroden die Ausscheidung erfolgt, während in der Mitte der leitenden Flüssigkeit äußerlich keine Veränderung wahrnehmbar ist, so nimmt er an, daß zwar in der ganzen Flüssigkeit eine Zersetzung vorkommt, daß aber in der Mitte z. B. ein positiv geladenes Wasserstoffatom sich wieder mit einem negativ geladenen Chloratom verbindet.

Clausius hat darauf aufmerksam gemacht, daß bei dieser Vorstellung in dem Augenblick, wo die zur Zersetzung nötige Spannung erreicht wird, sich die ganze Flüssigkeit explosiv zersetzen müßte, während man nichts dergleichen beobachtet. Er nimmt daher an, daß auch, bereits bevor eine Spannung angelegt ist, also in der scheinbar neutralen oder ungeladenen Flüssigkeit die einzelnen Molekeln ihre Bestandteile fortwährend miteinander austauschen, derartig, daß z. B. ein geladenes Wasserstoffteilchen sich von seinem bisherigen Chlorgenossen trennt und mit einem anderen verbindet. Jetzt ist nur noch ein Schritt zu der berühmten Annahme von Svante Arrhenius (1887), daß stets in der Flüssigkeit eine gewisse Anzahl von Molekeln zerlegt oder dissoziiert ist, und daß allein diese zerlegten oder elektrisch geladenen Atome bei angelegter Spannung die Leitung der Elektrizität übernehmen. Diese wandernden, elektrisch geladenen Teilchen nennt man nach dem Griechischen „Jonen", streng genommen müßte sie wohl Jonten heißen. Ein Chlorion unterscheidet sich also von dem Chloratom lediglich durch seine Ladung, die in diesem Falle negativ ist. Damit erscheint das Chlorion als eine Verbindung des Chloratoms mit einem Elektron.

Die genaueren Gesetze über die Wanderung der Jonen sind durch die bahnbrechenden Untersuchungen von Friedrich Kohlrausch und Hittorf klargestellt worden. Kohlrausch stellte auf Grund von zahlreichen und genauen Messungen fest, daß das Leitvermögen sehr verdünnter Lösungen stets als Summe zweier Leitvermögen aufgestellt werden kann, von denen das eine dem „Anion", d. h. dem nach der Anode wandernden, das andere dem „Kation", d. h. dem nach der Kathode wandernden Jon zukommt, ein Gesetz, das Kohlrausch als das Gesetz der unabhängigen Wanderungsgeschwindigkeiten bezeichnet. Dieses Gesetz erscheint ohne weiteres verständlich, wenn man sich an die Annahme von Arrhenius der „Dissoziation" der Molekeln erinnert. Danach kommt die Leitung z. B. einer Chlornatriumlösung dadurch zustande, daß die dissoziierten Chlor- und Natrium-Jonen in verschiedener Richtung wandern. Ist die Lösung nun sehr verdünnt, so ist jedes Jon nahezu nur von Wasser umgeben und die gesamte Leitung wird also durch die Summe der Leitungen des Chlor- und Natriumions bewirkt. Es ist

aber klar, daß man auf diesem Wege nur die Summe der Wanderungsgeschwindigkeiten erhält.

Das Verhältnis der Wanderungsgeschwindigkeiten zu berechnen hat Hittorf gelehrt. Er stellte nämlich fest, daß z. B. in einer Kupfersulfatzersetzungszelle in Nachbarschaft der Kathode eine Verarmung, in Nachbarschaft der Anode eine Anreicherung von Kupfersulfat auftritt.

Zerlegt man also die ganze Zelle durch zwei durchlässige Tonplatten in drei Abschnitte, so findet man die Konzentration in der mittleren Zelle unverändert, in den beiden äußeren dagegen verändert, und aus dem Konzentrationsunterschied kann man das Verhältnis der Wanderungsgeschwindigkeiten ermitteln. Kennt man aber das Verhältnis und die Summe zweier Zahlen, so kann man sie auch beide einzeln berechnen.

Auf diese Weise ergibt sich z. B., daß ein Wasserstoffion, das sich in einem elektrischen Feld bewegt, bei einem Spannungsgefälle von 1 Volt auf das Zentimeter eine Geschwindigkeit von rund $^1/_{30}$ mm/sec bei 0^0 C besitzt. Es handelt sich hier also um außerordentliche langsame Bewegungen.

Abb. 96. Elektrische Doppelschicht in der Nähe einer Zinkplatte, die in einen Elektrolyten eingetaucht ist.

Auf Grund dieser Vorstellungen gelang es nun auch das Auftreten der elektromotorischen Kraft von galvanischen Elementen verständlich zu machen. Als Beispiel diene das Daniell-Element, bei dem sich Kupfer in Kupfersulfat und Zink in Zinksulfat befindet, beide Lösungen getrennt durch eine durchlässige Tonzelle. Ebenso wie ein Salz im Wasser im allgemeinen die Neigung zeigt, in Lösung zu gehen, indem sich von dem Salz einzelne Molekeln abtrennen und zwischen die Wassermolekeln dringen, ebenso nimmt man mit Nernst an, daß das Zink in Zinksulfatlösung die Neigung zeigt, in Lösung zu gehen, aber nicht als Zinkatom, sondern als Zinkion. Nernst spricht daher vom „elektrolytischen Lösungsdruck". Es werden sich (Abb. 96) also positiv geladene Zinkionen in Nachbarschaft der Zinkplatte ansammeln, während die Zinkelektrode negativ geladen zurückbleibt. So bildet sich an der Zinkplatte eine „elektrische Doppelschicht" aus, in der sich zwischen elektrischer Anziehung der Jonen gegen die Platte und dem Lösungsdruck des Zinks ein Gleichgewichtszustand herstellt. Freilich wird auch in der Nähe der Kupferplatte eine ähnliche Doppelschicht ausgebildet. Sie ist aber nicht so stark, wie die in der Nähe der Zinkplatte, und so kommt es, daß beim Daniellschen Element die Zinkplatte negativ, die Kupferplatte positiv geladen erscheint. Diese Theorie hat sich auch zahlenmäßig ausgezeichnet bewährt.

Sie hat sich auch bewährt bei den galvanischen Elementen aus zweiter Hand oder „Sekundärelementen", z. B. dem Blei-Akkumulator oder -Sammler. Er besteht aus zwei in verdünnte Schwefelsäure eingetauchte Bleiplatten, die sich alsbald mit einer Bleisulfatschicht überziehen. Diese wird durch einen Ladestrom an der Kathode zu Blei reduziert, während es an der Anode zu Bleisuperoxyd oxydiert wird. Der Entladestrom verwandelt unter Umkehrung der chemischen Vorgänge die chemische Energie wieder in elektrische. Bei der Anwendung werden von vornherein Bleisalze an beiden Elektroden verwendet, die beim Laden in schwammiges

Blei bzw. Bleisuperoxyd umgewandelt werden und in diesem Zustand den Strom auch in größeren Stärken abgeben können. Der Akkumulator ist ein unentbehrliches Hilfsmittel in der Elektrotechnik geworden.

Dieselbe Spannung, die nun selbsttätig in der Nachbarschaft einer in den Elektrolyten tauchenden Metallplatte auftritt, genügt auch, von außen in umgekehrter Richtung angelegt, um das Metall wieder auszufällen. Diese Tatsache ist von Le Blanc festgestellt worden und bildet die Grundlage der elektrolytischen Analyse eines Salzgemisches. Bei Anlegung wachsender Spannungen wird eben zuerst das Element mit geringerer und später das erst mit höherer Zersetzungsspannung ausgeschieden, so daß auf diese Weise die Elemente voneinander getrennt werden können.

26. Elektronen im freien Zustand. Kathodenstrahlen.

Im vorigen Abschnitt sahen wir uns genötigt, Atome der Elektrizität oder Elektronen anzunehmen. Diese Annahme wäre an sich noch nicht sehr überzeugend, wenn es nicht gelungen wäre, die Elektronen auch im freien Zustand bewegt nachzuweisen. Zu diesem Zwecke hat man sich aber nicht der Zersetzung von Flüssigkeiten, sondern der Zersetzung von Gasen durch den elektrischen Strom zu bedienen.

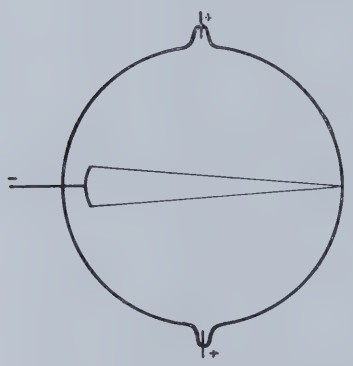


Abb. 97. Kathodenstrahlen im luftverdünnten Raum.

Denken wir uns also eine kugelförmige Glasröhre mit zwei Eintrittsstellen an den Enden, den Elektroden, und legen daran eine ausreichend hohe Spannung an, so wird sie im allgemeinen, solange sich Luft von atmosphärischem Druck in der Röhre befindet, keine sichtbare Entladung hervorbringen. Wenn man aber beginnt, die Röhre auszupumpen, so bildet sich bei einem gewissen Druck ein Lichtband zwischen den beiden Elektroden aus. Die Erscheinungen, die bei allmählich weiterschreitender Gasverdünnung auftreten, sind ziemlich verwickelter Natur und sollen erst später erörtert werden. Erst wenn man zu sehr hohen Verdünnungen schreitet, wird die Erscheinung verhältnismäßig einfach. Jetzt sieht man das Innere der Röhre fast ganz ohne Licht, aber gegenüber der Kathode bildet sich ein heller Fleck aus, der in grünlich-gelbem Lichte erstrahlt. Es ist dabei gleichgültig, ob man den positiven Strom an der oberen oder unteren Anode in Abb. 97 zuführt. Die Lage des hellen Flecks wird dadurch nicht beeinflußt. Die Glaswand wird an dieser Stelle zwar zugleich etwas erwärmt, aber nicht stark genug, um ein Wärmeglühen hervorzubringen. Es handelt sich um eine Fluoreszenz- oder Phosphoreszenzerscheinung — s. Abschnitt 11. Ebenso kann man bei genügender Stromstärke den Weg zwischen der Kathode und der Glaswand in einem bläulich-violetten Licht aufleuchten sehen. Es macht ganz den Eindruck, als ob geradlinige Strahlen von der Kathode ausgingen, die in der Luft und auf der Glaswand die Fluoreszenz auslösen. Man spricht deshalb von Kathodenstrahlen. Sie sind von

Plücker 1858 entdeckt und von Hittorf 1869 und Crookes 1879 genauer untersucht worden.

Die Strahlennatur des beschriebenen Vorgangs wird noch deutlicher, wenn man zwischen die Kathode und die Glaswand ein umlegbares Aluminiumkreuz bringt. Bei aufgerichtetem Kreuz sieht man seinen Schatten auf der Glaswand.

Um der Erscheinung näher zu treten, soll jetzt eine längliche Röhre verwendet werden, in die unmittelbar vor der Elektrode eine Glimmerscheibe eingespannt ist. Sie trage einen waagrechten Schlitz, so daß die Kathodenstrahlen fächerförmig austreten können. Zwischen der Glimmerscheibe und der Anode ist ein mit Zinksulfat bestrichener Schirm eingefügt, worauf die Kathodenstrahlen ein helles, aufleuchtendes geradliniges Band aufzeichnen. Nähert man jetzt einen Magneten, dessen

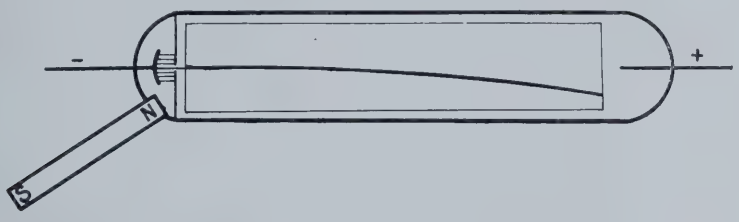


Abb. 98. Ablenkung der Kathodenstrahlen durch einen Magneten.

Achse senkrecht zur Längserstreckung der Röhre liege, so werden die von links kommenden Kathodenstrahlen im Bogen nach unten abgelenkt, wenn der Nordpol des Magneten der Röhre zugekehrt ist (Abb. 98). War der Südpol der Röhre zugekehrt, so werden die Strahlen nach oben abgebogen. Das ist bereits ein deutlicher Beweis dafür, daß die Kathodenstrahlen den Lichtstrahlen nicht verwandt sind; denn die Lichtstrahlen werden unter dem Einfluß eines Magneten nicht abgelenkt. Überlegt man sich nun, welche bekannten Erscheinungen dieser Erscheinung ähneln, so wird man finden, daß ein vom Strom durchflossenes, bewegliches metallisches Bändchen genau in der gleichen Weise von dem magnetischen Feld abgelenkt würde, wenn es von einem negativen Strom in Richtung der Kathodenstrahlen durchflossen wird, d. h. die Kathodenstrahlen verhalten sich so, als ob sie aus Teilchen bestünden, die negative Ladung mit sich führen. Was sind das aber für merkwürdige Teilchen? Die erste Aufklärung wurde annähernd gleichzeitig von J. J. Thomson und Kaufmann gegeben. Die Kathodenstrahlen verhalten sich offenbar so, als ob sie wie Geschosse von der Kathode ausgeschleudert werden, die eine negative Ladung besitzen. Die Ablenkung, die sie erfahren, wird dann nach dem Grundgesetz der Mechanik durch das Verhältnis der einwirkenden Kraft zu der Masse der Teilchen bestimmt. Die Kraft ist bedingt durch das Vielfache der magnetischen Feldstärke, der elektrischen Ladung der Kathodenstrahlteilchen und ihrer Geschwindigkeit. So läßt sich zeigen, daß die Ablenkung sowohl bedingt ist durch die Geschwindigkeit der Teilchen, als auch durch das Verhältnis ihrer Ladung zur Masse, ein Verhältnis, das man auch als spezifische Ladung zu bezeichnen pflegt.

Somit wird man noch eine zweite andersartige Beobachtung machen müssen, um die beiden unbekannten Größen, nämlich spezifische Ladung und Geschwindigkeit, berechnen zu können.

Sollten nun nicht die Kathodenstrahlteilchen auch durch das elektrische Feld abgelenkt werden können? Das muß der Fall sein, wenn sie wirklich negative Ladung mit sich führen. In der Tat, schickt man die Kathodenstrahlen zwischen zwei geladenen Platten hindurch, so werden sie zu der positiv geladenen Platte hingezogen, von der negativen Platte abgestoßen. Aus dem Betrage dieser Ablenkung erhält man eine zweite Gleichung zwischen beiden Unbekannten und kann sie so beide getrennt ermitteln.

Selbstverständlich wird die Geschwindigkeit der Kathodenstrahlen von der Spannung abhängen, die man zwischen beiden Elektroden in der ausgepumpten Röhre anbringt. Je größer die Spannung ist, um so größer wird auch die Geschwindigkeit sein. Es ergibt sich so, daß bei einer Spannung von etwa 10000 Volt die Geschwindigkeit der Strahlen gleich ein Fünftel Lichtgeschwindigkeit ist. Aber auch das Verhältnis der Ladung zur Masse der Kathodenstrahlen kann bestimmt und verglichen werden mit dem Verhältnis der Ladung zur Masse eines Wasserstoffions. Man fand, daß das Verhältnis von Masse zur Ladung bei den Kathodenstrahlen ungefähr 2000 mal so klein wie bei dem Wasserstoffion. Würde also die Ladung in beiden Fällen die gleiche sein, so würde das heißen, daß die Masse der Kathodenstrahlteilchen 2000 mal so klein ist, wie die Masse des Wasserstoffatoms. Unmittelbare Bestimmungen haben in der Tat den Nachweis geliefert, daß die Ladung der Kathodenstrahlteilchen dieselbe ist, wie die Ladung des Wasserstoffions. Dadurch ist es klar geworden, daß die Kathodenstrahlteilchen nichts anderes sind, als freibewegte Elektronen, d. h. als dieselben Teilchen, die uns schon bei den Erscheinungen der Elektrolyse entgegengetreten sind. Wir haben es also bei den Kathodenstrahlen mit rasch bewegten Elektronen zu tun, die unbeschwert von körperlicher Masse sich im Raume frei bewegen; die Kathodenstrahlen sind also stoffliche Strahlen und keine Wellenstrahlen. (Vergl. hierzu Abschn. 33, S. 200.)

Durch diese Feststellung war eine ganz neue Welt erschlossen, indem man es mit Teilchen zu tun hat, die von bedeutend geringerer Masse sind, als die Atome aller bekannten chemischen Elemente. In der Tat knüpft sich an diese Entdeckung eine außerordentlich weittragende Entwicklung der Physik.

Eine erhebliche Schwierigkeit bei der Untersuchung dieser Strahlen bestand darin, daß man die Gasdichte in dem von Kathodenstrahlen durchsetzten Raume nicht unabhängig von der Entladungsspannung und somit von der Geschwindigkeit der Elektronen verändern konnte. Denn bei geringerer Gasdichte erfordert die Röhre eine größere angelegte Spannung, damit der Stromübergang überhaupt einsetzen kann. Nun hatte schon Hertz beobachtet, daß die Kathodenstrahlen durch dünne Metallblättchen hindurchdringen können, während sie vom Glas der Röhre vollständig zurückgehalten werden. So kam Lenard auf den Gedanken, eine kleine Öffnung an der Röhre anzubringen und sie wieder abzuschließen durch ein dünnes Aluminiumblättchen, dick genug, daß die Luft nicht in die Röhre eindringen kann, und doch dünn genug, daß die Strahlen durch sie hindurchtreten können. So hat Lenard die Strahlen in den freien Raum hindurchtreten lassen und fand, daß sie die Luft beim Austritt lebhaft zum Fluoreszieren bringen, doch nur in unmittelbarer Nachbarschaft des Aluminiumfensters, da sie nach kurzer Strecke verschluckt wurden. Lenard brachte nun eine zweite Röhre hinter dem Fenster an, die luftdicht auf die erste aufgeschmolzen war,

und konnte nun in der zweiten Röhre je nach Belieben verschiedene Gase mit verschiedenem Druck einleiten und so untersuchen, wie stark die Kathodenstrahlen von gegebener Geschwindigkeit in diesen Gasen absorbiert werden. Da ergab sich bei großen Geschwindigkeiten der Strahlen ein außerordentlich einfaches Gesetz: Die Absorption nimmt zu mit der Dichte der Gase, d. h. sie wächst bei verschiedenen Gasen unter gleichem Druck und gleicher Temperatur, also mit dem Molekulargewicht der Gase. Es lag nahe anzunehmen, daß es in erster Linie elektrische Kräfte sind, die die Zerstreuung und Absorption der Kathodenstrahlen bewirken. Lenard kam zu der Annahme, daß jedes Atom aus einer Zahl von elektrischen Doppelpolen bestehe, die zugleich mit Masse beladen sind, und von denen jeder Dipol die gleiche Masse hat. So mußte bei zunehmender Masse auch die Ladung zunehmen und damit die Einwirkung auf die Kathodenstrahlen. Diese Annahme ist aus Gründen, die wir später kennenlernen werden, von Rutherford dahin abgeändert worden, daß die positive Ladung eines Atoms in einem Kern zusammengedrängt ist; diesen umgeben so viele Elektronen, daß seine Ladung neutralisiert wird.

Bedeutend langsamere Kathodenstrahlen erhält man auf anderem Wege, der durch eine merkwürdige Entdeckung von Hertz eröffnet wurde.

Hertz fand, daß die Entladung einer Funkenstrecke unter dem Einfluß des Funkens einer zweiten Funkenstrecke begünstigt wird. Er stellte aber fest, daß nicht die elektrische Entladung an sich, sondern die Strahlung, die von der zweiten Funkenstrecke ausgeht, die Wirkung hervorbringt, und zwar vor allem der ultraviolette Teil dieser Strahlung.

Hallwachs gelang es, die Erscheinung in der Weise zu vereinfachen, daß er eine negativ geladene Platte, z. B. aus Zink, durch eine ultraviolette Strahlenquelle bestrahlte. Es ergab sich dann, daß die Platte entladen wird, aber nur wenn sie negativ, nicht wenn sie positiv geladen ist. Lenard und J. J. Thomson zeigten dann später, daß die Entladung auch im luftleeren Raume vor sich geht und daß die negativen Teilchen, die sich absondern, nichts anderes sind, als Kathodenstrahlen, also bewegte Elektronen, und zwar langsam bewegte.

Mit diesen langsamen Kathodenstrahlen wiederholte Lenard seine Absorptionsversuche und gelangte damit zu einem gegenüber dem Verhalten der schnellen gänzlich abweichenden Gesetz. Jetzt war nicht mehr die Dichte des Gases, sondern lediglich die Zahl von Molekeln für die Absorption maßgebend, was so zu deuten ist, daß das Kraftfeld einer jeden Molekel nur die langsamen Elektronen abzufangen vermag. Für die schnelleren reicht offenbar das äußere verhältnismäßig schwache Molekularfeld nicht aus, um sie festzuhalten; sie können mitten durch die Molekeln hindurchfliegen und werden nur festgehalten oder zerstreut, wenn sie einem inneren starken elektrischen Feld ausgesetzt werden.

27. Die Elektronen in verschiedenen Erscheinungsformen.

Metallische Leitung. Nachdem man die Natur der Elektronen erkannt hatte, stellte es sich heraus, daß sie bei einer ganzen Reihe physikalischer Erscheinungen eine wesentliche Rolle spielen und zur Erklärung dieser Erscheinungen dienen können. Dahin gehört vor allen Dingen die metallische Leitung. Während ein flüssiger Strom-

leiter (Elektrolyt) im allgemeinen durch den elektrischen Strom zersetzt wird, kann man bei den Metallen keine Spur einer solchen Zersetzung bemerken. Die Metallatome liegen beim Stromdurchgang offenbar im wesentlichen fest. Es liegt daher nahe, die Elektronen für die metallische Leitung verantwortlich zu machen. Sie befinden sich in großer Zahl angeordnet um den positiven Kern der Metallatome, ein Teil von ihnen wird wenig durch sie gebunden sein, ein anderer überhaupt nicht und sich daher frei zwischen ihnen bewegen. Es ist dann eine unregelmäßige Bewegung dieser Elektronen anzunehmen, ähnlich wie die der Molekeln in einem Gas. Wird nun eine elektrische Spannung an den Metalldraht angelegt, so werden die Elektronen sich in Richtung des negativen Spannungsgefälles in Bewegung setzen und so die Stromleitung übernehmen. Bei steigender Temperatur wird die Geschwindigkeit der unregelmäßig bewegten Elektronen zunehmen. Das richtende elektrische Feld wird daher nicht im gleichen Maße wie früher eine Ablenkung der bewegten Elektronen bewirken können, und deshalb nimmt das Leitvermögen mit steigender Temperatur ab, während umgekehrt bei den Elektrolyten das Leitvermögen im allgemeinen mit der Temperatur zunimmt, weil die Beweglichkeit der Wasserteilchen mit der Temperatur zunimmt, und somit die Reibung der Ionen abnimmt.

Umgekehrt wird bei tiefen Temperaturen das Leitvermögen der Metalle zunehmen, und es müßte nach der Theorie beim absoluten Nullpunkt der Temperatur beliebig groß sein. Kamerlingh Onnes hat gefunden, daß bereits vor Erreichung des absoluten Nullpunktes bei einigen Metallen ein außerordentlicher Anstieg des Leitvermögens eintritt. Wenn man einen Magneten senkrecht zur Ebene eines Drahtringes, z. B. aus Blei, aufstellt, der nun bis zu einer Temperatur in Nachbarschaft des absoluten Nullpunktes abgekühlt wird, und den Magneten dann herauszieht, so tritt ein Induktionsstrom ein, der bei gewöhnlicher Temperatur rasch verschwinden würde, nun aber Stunden und Tage anhält, was man an der magnetischen Fernwirkung des Kreisstromes erkennt. Die Erscheinung ist mit dem Namen „Ultraleitfähigkeit" oder Überleitfähigkeit bezeichnet worden.

Einen Einblick in den inneren Aufbau der Legierungen ermöglichte die Untersuchung ihrer elektrischen Leitfähigkeit. Manche Legierungen, z. B. zwischen Gold und Silber, haben eine Leitfähigkeit, die von der der beiden Bestandteile vollkommen abweicht. Dieses Verhalten zeigt die Bildung von Mischkristallen, also eines vollkommen neuartigen Körpers in der Legierung an. Legierungen zwischen Metallen wie z. B. Zink, Zinn, Cadmium und Blei dagegen erweisen sich als bloße Gemenge ihrer Bestandteile. Ihre Leitfähigkeit liegt zwischen den Werten der Leitfähigkeit beider Bestandteile und zwar so, daß sich die Logarithmen der Leitfähigkeiten und zugleich auch die Logarithmen der elektrischen Widerstände nach der Gesellschaftsregel zusammensetzen (Lichteneckers logarithmisches Mischungsgesetz).

Thermoelektrizität. Lötet man zwei Metalle aneinander, so wird sich an der Grenze eine gewisse Verteilung der Elektronen einstellen, derartig, daß das eine Metall von seinem Überschuß an Elektronen an das andere abgibt, da man im allgemeinen nicht wird erwarten können, daß beide gleichviel Elektronen in der Raumeinheit enthalten. Das wird also zu einer elektrischen Spannung zwischen beiden

Metallen Anlaß geben. Lötet man die beiden Metalldrähte auch am anderen Ende zusammen, so wird an dieser Stelle der gleiche Spannungsunterschied, aber im entgegengesetzten Sinne, auftreten, so daß zunächst kein Strom zustande kommen kann. Ändert man aber die Temperatur der einen Lötstelle, so werden sich die beiden Lötstellen verschieden verhalten und es kann ein dauernder Strom auf Kosten der zugeführten Wärme entstehen. Das ist die Erscheinung der Thermoelektrizität, die bereits 1821 von Seebeck entdeckt wurde. Freilich sind jene Spannungen außerordentlich gering, und man hat Grund zur Annahme, daß an der Grenze zweier Metalle, die die Höchstspannung ergeben, nämlich Antimon und Wismut, die Spannung bei Zimmertemperatur nur etwa 0,3 Volt beträgt, also viel weniger als die Spannung, die bei den Voltaschen Berührungsversuchen auftritt, wovon schon im Abschnitt 14 die Rede war.

Da die Spannung des Thermoelementes in sehr bestimmter Weise von der Temperatur abhängt, so kann es auch zu Temperaturmessungen benutzt werden, besonders bei sehr tiefen und sehr hohen Temperaturen, wo andere Verfahren versagen.

Magnetische Drehung der Polarisationsebene des Lichtes. Jetzt können wir uns der Frage zuwenden, wo im Atom der elektrische Oszillator sitzt, der nach der Maxwellschen Theorie die Quelle der Lichtstrahlung bildet. Es liegt nahe, die um den positiven Atomkern herum bewegten Elektronen für die Strahlung verantwortlich zu machen. Wenn das so wäre, dann müßte auch ein magnetisches Feld auf diese Strahlung einen Einfluß nehmen. Ja das magnetische Feld müßte überhaupt auch auf die Lichtausbreitung in den Körpern einen Einfluß haben.

„Zeeman- und Starkeffekt". Der Nachweis des Einflusses des magnetischen Feldes auf die Ausstrahlung selbst ist Faraday mangels genügender Empfindlichkeit seiner Apparate nicht gelungen. Dies gelang erst Zeeman 1896 mit den heutigen Hilfsmitteln zur äußersten Auflösung des Spektrums und der Spektrallinien. Er fand im einfachsten Fall, daß eine Spektrallinie unter dem Einfluß des magnetischen Feldes, das parallel zur Sehrichtung auf die Lichtquelle einwirkt, in zwei Linien aufgespalten wird. Diese Erscheinung ist leicht zu erklären, wenn man nach H. A. Lorentz die Bahn der zur Strahlung Anlaß gebenden elektrischen Teilchen beachtet. Sie müssen, wenn sie in einer Ebene senkrecht zur Richtung des magnetischen Feldes im Kristall herumgehen, eine Kraft erfahren, die je nachdem gegen die Mitte oder von dieser weg gerichtet ist. Das hat zur Wirkung, daß die näher gerückten Elektronen rascher um den Kern umlaufen, während die weiter gerückten langsamer umlaufen. Es wird also das Spektrum durch die Schwingungszahl verändert und die eine Linie nach Rot, die andere nach Violett gegenüber der unbeeinflußten Linie verschoben erscheinen.

Aus dem Betrage der Ablenkung kann man die spezifische Ladung des schwingenden Teilchens genau wie bei den Kathodenstrahlen ermitteln, und es stellt sich heraus, daß dieses Verhältnis dasselbe ist wie bei den Kathodenstrahlen. Man muß also daraus schließen, daß man es bei diesen Schwingungen in der Tat mit schwingenden Elektronen zu tun hat.

Ebenso wie das elektrische Feld die Kathodenstrahlen ablenkt, muß es auch auf die Lichtaussendung einen Einfluß haben. Eine darauf beruhende Erscheinung ist von Stark 1913 beobachtet worden.

Regelmäßige und unregelmäßige Farbenzerstreuung (normale und anomale Dispersion des Lichtes). Es ist nun klar, daß das Licht auch beim Durchgang durch einen Körper unter dem Einfluß der schwingenden Elektronen dieses Körpers beeinflußt werden muß, und daß diese Beeinflussung dazu führt, daß das Licht verschiedener Farben den Körper mit verschiedener Geschwindigkeit durcheilt.

In der Tat gelang es Sellmeyer 1872 und dann in schärferer Weise Helmholtz 1875 auf Grund der elastischen Lichttheorie die Erscheinung der Farbenzerstreuung des Lichtes in den Körpern zu erklären, eine Theorie, die, als die elektromagnetische Lichttheorie obgesiegt hatte, sich ohne weiteres in die elektromagnetische Sprache übersetzen ließ.

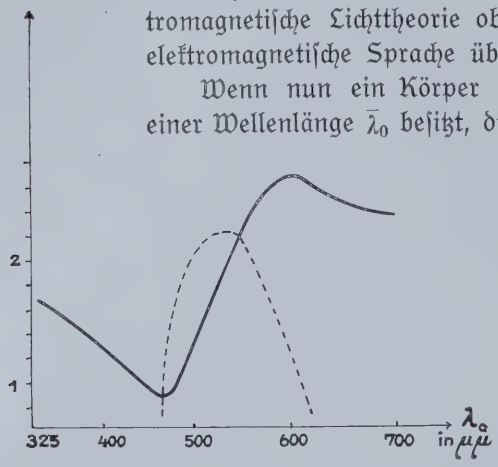


Abb. 99. Zur „anomalen Dispersion". Absorptionskurve (gestrichelt) und Kurve des Brechungsverhältnisses (ausgezogen) für Fuchsin nach A. Pflüger.

Wenn nun ein Körper eine ausgeprägte Absorptionsbande bei einer Wellenlänge $\bar{\lambda}_0$ besitzt, die in Abb. 99 durch die gestrichelte Kurve dargestellt ist, so wird der Einfluß des Körpers die Wirkung haben, eine benachbarte Wellenlänge λ_0 (gemessen im leeren Raum) des ankommenden Lichtes so zu verändern, daß sie sich der Wellenlänge $\bar{\lambda}_0$ annähert. Ist also die ankommende Wellenlänge größer, d. h. mehr nach Rot zu gelegen, so wird die Wellenlänge λ_0 verkleinert bis zu λ. Nun wird das Brechungsverhältnis eines Körpers ausgedrückt durch das Verhältnis der Wellenlänge λ_0 einer Farbe im luftleeren Raum zu der Wellenlänge λ in dem betreffenden Körper, und eine Verkleinerung der Wellenlänge λ wird also eine Vergrößerung des Brechungsverhältnisses n bewirken. Umgekehrt wird es verkleinert, wenn die Wellenlänge λ_0 des ankommenden Lichtes auf der anderen Seite der Absorptionsbande, also bei kleineren Wellen als $\bar{\lambda}_0$ liegt. In der Absorptionsbande selbst geht dann n stetig von kleineren zu größeren Wellen über. Die ausgezeichnete Kurve in Abb. 99 gibt den Verlauf des Brechungsverhältnisses n in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ_0 an. Die Wellenlängen sind als Abschnitte aufgetragen, die Brechungsverhältnisse als Zugeordnete. Auf diese Weise kann es also vorkommen, daß eine mehr gegen Rot zu liegende Farbe stärker gebrochen wird, als eine gegen Violett zu liegende, eine Erscheinung, die der Regel zuwiderläuft und daher als außergewöhnliche oder anomale Dispersion bezeichnet wird. Die Erscheinung wurde zum erstenmal von Christiansen beobachtet und durch ein sinnreiches Verfahren von Kundt genauer untersucht. Die regelmäßige oder normale Dispersion kommt dadurch zustande, daß die meisten Körper eine sehr starke Absorption im Ultravioletten erfahren, so daß also, wenn man sich von Rot nach Blau begibt, ein allmählich immer stärker werdendes Brechungsverhältnis eintreten muß.

Phosphoreszenz und Photographie. Auch die mannigfaltigen Wirkungen des Lichtes lassen sich mit Hilfe der Elektronentheorie leichter verstehen, z. B. die Erscheinung der Phosphoreszenz und der chemischen Wirkung des Lichtes bei der Photographie.

Lenard hat gezeigt, daß die Phosphoreszenz auf eine lichtelektrische Wirkung zurückgeführt werden kann (Abschnitt 26), indem vom Licht getroffene Metallatome, die sich in der phosphoreszierenden Masse befinden, Elektronen abspalten, die beim Zurückkehren das Leuchten auslösen.

In ähnlicher Weise ist zu vermuten, daß die Wirkung des Lichtes auf die photographische Platte in erster Linie durch die lichtelektrische Wirkung veranlaßt wird. Die photographische Platte, wie sie heute meist verwendet wird, besteht aus einer Bromsilberemulsion, die in Gelatine eingebettet ist. Es wird also vermutlich ein Elektron aus dem Bromion an das Silberion übergehen, dieses zu neutralem Silber reduzierend. Bei der folgenden Entwicklung bildet dieses dann den Kern zur weiteren Anlagerung von Silber, wodurch die Schwärzung der photographischen Platte veranlaßt wird.

28. Kanalstrahlen. Isotopen. Stromübergang in verdünnten Gasen.

Wenn in der luftleeren Röhre die Kathode der Ausgangspunkt einer negativ elektrischen Strahlung ist, so tritt die Frage auf, wohin die positiven Ladungen kommen, die bei der ursprünglich neutralen Molekel auch vorhanden sein müssen. Während nun die negativ geladenen Kathodenstrahlen von der negativen Kathode abgestoßen werden, müssen positiv geladene Strahlen zur Kathode hingezogen werden und dort ihr Ende finden, d. h. auf diese Art sind die positiven Strahlen nicht zur Erscheinung zu bringen. Goldstein hat 1886 gezeigt, daß, wenn man die Kathode mit einer Reihe von Löchern oder Kanälen versieht, dann in der Tat aus den Kanälen Strahlen in einer den Kathodenstrahlen entgegengesetzten Richtung austreten.

Wilhelm Wien hat später die Natur dieser Strahlen genauer untersucht und zunächst nachgewiesen, daß sie tatsächlich positiv geladen sind. Es gelang ihm dann auch ihre Ablenkung im elektrischen und magnetischen Feld zu messen und so genau wie bei den Kathodenstrahlen ihre Geschwindigkeit und spezifische Ladung zu ermitteln. Die Geschwindigkeit ergab sich bei der verwendeten Versuchsanordnung in der Größenordnung von $^1/_{1000}$ Lichtgeschwindigkeit, die spezifische Ladung als dieselbe, wie bei elektrolytischen Jonen. Demnach ist die Masse der Kanalstrahlteilchen gleich der Masse der Atome oder Atomgruppen, die in dem untersuchten Gase vorkommen.

Neuerdings hat Aston eine Vorrichtung getroffen, die es gestattet, alle Kanalstrahlen von gleicher spezifischer Ladung unabhängig von ihrer Geschwindigkeit auf demselben Punkt einer photographischen Platte zu vereinigen. Leitet man die Kanalstrahlen durch einen Spalt, so bekommt man auf der photographischen Platte eine Reihe voneinander getrennter Striche, ganz ähnlich den Linien eines Spektrums. Ihre Lage wird bestimmt durch die spezifische Masse und daher nennt man den Apparat einen „Massespektrographen". Dabei machte Aston eine überaus bedeutungsvolle Entdeckung. Wenn man z. B. Kanalstrahlen aus Chlor untersucht, so findet sich, daß es nicht nur eine „Chlorlinie" gibt, sondern deren zwei, die dem Atomgewicht 35 und 37 entsprechen, während das in der Natur vorkommende Chlor das Atomgewicht von rund 35,5 aufweist, so daß das in der Natur vorkommende Chlor

als ein Gemisch zweier verschiedenen Chlorarten aufzufassen ist. Sie haben gleiche chemische Eigenschaften, aber verschiedenes Atomgewicht. Sie stehen also an derselben Stelle des „Systems der Elemente" nach Lothar Meyer und Mendelejeff und heißen deshalb Isotope, oder gleichartige Elemente. In ähnlicher Weise hat Aston eine ganze Reihe anderer Elemente untersucht. Manche erweisen sich als einfach, und zwar gerade die, deren Atomgewicht einer ganzen Zahl nahe liegt, während andere, deren Atomgewicht von einer ganzen Zahl weiter entfernt ist, sich als zusammengesetzt aus zwei oder mehreren Bestandteilen mit verschiedenen ganzzahligen Atomgewichten erweisen. Auf die große Bedeutung dieser Entdeckung wird an anderer Stelle zurückzukommen noch Gelegenheit sein.

Mit der Erkenntnis der Beschaffenheit der Kathoden- und Kanalstrahlen lassen sich jetzt die verwickelten Erscheinungen der Gasentladung leichter begreifen. Wenn man eine zylindrische Röhre benutzt, die bis auf 1 mm Luftdruck ausgepumpt ist, und sie nun der Spannung einer hochgespannten Gleichstromquelle von 5000 bis 10000 Volt aussetzt, so nimmt man die folgende Erscheinung wahr (Abb. 100). Die Lichtsäule in der Nähe der Anode, bestehend aus einer Reihe von gewölbten Schichten, bezeichnet man als das positive Glimmlicht, die Lichterscheinung in der Nähe der Kathode als das negative Glimmlicht. Zwischen dem positiven und dem negativen Glimmlicht befindet sich ein Dunkelraum, der nach seinem Entdecker Faradayscher Dunkelraum heißt. Zwischen dem negativen Glimmlicht und der auch von Glimmlicht überzogenen Kathode befindet sich ein zweiter kleinerer Dunkelraum, der Crookesscher Dunkelraum heißt. Wenn man die Anode durch eine geeignete magnetische Vorrichtung gegen die Kathode verschiebt, so verschwinden nur einige der gekrümmten Schichten in die Anode hinein, während die übrige Entladungserscheinung unverändert bleibt. Rückt man dagegen die Kathode vor, so verschiebt sich mit ihr die ganze Entladungserscheinung. Der Ausgangspunkt der Entladung ist also in der Nachbarschaft der Kathode zu suchen. Die negative Glimmlichtschicht hat sich als der Ausgangspunkt sowohl der Kathoden- als auch der Kanalstrahlen erwiesen. Dort herrscht auch das größte Spannungsgefälle, also die größte elektrische Kraft. Geraten positiv geladene Teilchen, also die eben besprochenen Kanalstrahlen in dieses Gebiet starker elektrischer Kraft, so nehmen sie hohe Geschwindigkeiten an, mit denen sie in die Metalloberfläche stürzen. Einerseits hat dies zur Folge, daß bei hinreichender Teilchenzahl (Stromdichte der Kanalstrahlen) das Kathodenmetall glühend wird, andererseits werden durch den Anprall aus dem Verband der metallischen Oberfläche negativ geladene Elektronen freigemacht und in dem starken Felde von der Kathode wegbefördert; dies sind aber gerade die bei hinreichend hoher Verdünnung auftretenden Kathodenstrahlen. Anfangs werden zwar diese Strahlen nach einer gewissen Wegstrecke, die der Dicke des Crookesschen Dunkelraumes entspricht, auf Luftreste auftreffen, diese elektrisch

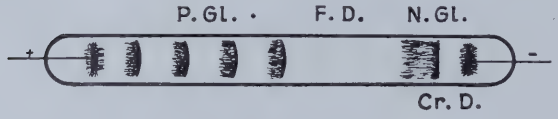


Abb. 100. Entladungserscheinungen in einer luftverdünnten Röhre.
P. Gl. Positives Glimmlicht
F. D. Faradayscher Dunkelraum
N. Gl. Negatives Glimmlicht.
Cr. D. Crookesscher Dunkelraum.

zertrümmern und an dieser Stelle das Kathodenglimmlicht hervorrufen. Erreicht aber bei fortschreitendem Auspumpen der Röhre der Verdünnungsgrad die Größenordnung von 0,01 mm Quecksilbersäule, so verschwinden die leuchtenden Bänder und Streifen, der Crookessche Dunkelraum breitet sich allmählich über die ganze Röhre aus und die der Kathode gegenüberliegende Glaswand leuchtet grün auf. Das zeigt uns, daß die an der Kathode durch den Anprall der positiven Kanalstrahlteilchen freigemachten Elektronen bei diesem Grade der Verdünnung als Kathodenstrahlen in freiem Fluge, d. h. ohne durch Luftteilchen abgebremst zu werden, die Glaswand zu erreichen vermögen, wie dies im Absatz 26 eingehend erörtert ist.

29. Röntgen- und Radiumstrahlen. Radioaktive Zerfallsreihen.

Im Jahre 1895 entdeckte Röntgen, daß die Kathodenstrahlen beim Aufprallen auf feste Körper eine vollkommen andersartige, bis dahin unbekannte Strahlung hervorrufen. Röntgen konnte mit der Kunde von seiner Entdeckung zugleich eine so erschöpfende Darstellung der Eigenschaften und Wirkungen der neuen Strahlen geben, daß die Physiker aller Länder, abgesehen von technischen Verbesserungen der Geräte, durch 17 Jahre nichts grundsätzlich Neues hinzuzufügen vermochten. Die Fähigkeit der neuentdeckten Strahlen, lichtundurchlässige Stoffe zu durchdringen, erregte das größte Aufsehen und führte zu den epochemachenden Anwendungen in Chirurgie und Medizin. Die übrigen Eigenschaften ließen die Röntgenstrahlen um so rätselhafter erscheinen. Sie führten nachweislich keine materiellen Teilchen oder elektrische Ladungen mit sich, wie die Kanal- bzw. Kathodenstrahlen; denn alle Versuche, sie durch elektrische oder magnetische Kräfte aus ihrer Bahn abzulenken, waren ergebnislos. Ebensowenig ließen sie aber auch die wesentlichen Eigenschaften des Lichtes oder einer Wellenbewegung überhaupt erkennen, nämlich Reflexion, Brechung, Dispersion usf. Durch Spiegel, Prismen und Linsen von ihrem geradlinigen Wege unablenkbar, machten sie sich im wesentlichen durch drei Wirkungen wahrnehmbar: durch Fluoreszenzerregung z. B. an dem bekannten gelbgrünen Bariumplatinzyanür-Schirm, durch Schwärzung der photographischen Platte und schließlich durch Leitfähigmachung der Luft, was am Zusammenfallen der Blättchen eines Elektroskopes messend beobachtet werden konnte.

Die Röntgenstrahlen, die beim Auftreffen der Kathodenstrahlen auf die Glaswand des Gefäßes entstanden, waren nur schwach. Starke Wirkungen zu erzielen gelang Röntgen, indem er die Kathodenstrahlen, die von einer hohlspiegelartig geformten Kathode K ausgingen, im Brennpunkt des Hohlspiegels, gesammelt auf eine Metallplatte, die Antikathode A′ auftreffen ließ. Die dort auftretenden Wärmewirkungen sind so groß, daß die Antikathode glühend werden kann und deshalb meist durch Luft- oder Wasserkühlung geschützt wird.

Je nach der Größe der angelegten Spannung und nach der Größe des Druckes der Gasreste in der Röhre kann man „weiche", „mittlere" oder „harte" Strahlen, d. h. Strahlen verschiedenster Durchdringungsfähigkeit erzielen. Je höher die Betriebsspannung und je vollkommener die Luftleere, desto härter, d. h. desto durchdringender werden die erzeugten Röntgenstrahlen. Die in der Chirurgie für Durch-

leuchtungen verwendeten Strahlen sind von mittlerer Härte, so daß die Fleischteile noch fast gänzlich von den Strahlen durchsetzt werden, das Knochengerüst sie jedoch bereits ziemlich verschluckt. Zu medizinischen Zwecken für Tiefenstrahlung werden dagegen „harte" Röntgenstrahlen verwendet. Zu einem mit maschinentechnischer Betriebssicherheit arbeitenden Gerät wurde die Röntgenröhre, als man gelernt hatte, durch Anheizen der Kathode den Austritt der Elektronen des Kathodenstrahlbüschels nach Menge und Spannung willkürlich zu regeln und mit Sicherheit einzustellen.

Die Entdeckung der Wellennatur der Röntgenstrahlen und deren grundlegende Bedeutung für unsere Kenntnis des atomaren Aufbaues der Grundstoffe ist bereits im Abschnitt 22 behandelt.

Die Fluoreszenzwirkungen der Röntgenstrahlen ließen Becquerel in Paris vermuten, daß auch Mineralien, die fluoreszieren, ähnliche Strahlen aussenden und tatsächlich erwies es sich, daß uranhaltige Mineralien die photographische Platte durch eine lichtdichte Hülle hindurch zu schwärzen vermögen. So wurde die Entdeckung der Röntgenstrahlen nach kurzer Zeit zum Ausgangspunkt einer zweiten großen Entdeckung, vielleicht der größten aller Zeiten, da sie dem Menschen die Umwandlung der Elemente ineinander und die Quelle der märchenhaft großen inneratomaren Energien offenbarte. Dem Ehepaar Curie gelang es, in jahrelanger mühsamster Forscherarbeit aus solchen Mineralien (Pechblende) einen neuen Grundstoff abzuscheiden, dessen Strahlenwirkung außerordentlich viel stärker war als die von reinem Uran; sie nannten ihn Radium, den „Strahler". Die Wirkungen der Strahlen waren zunächst von gleicher Art wie die der Röntgenstrahlen; sie vermochten außer der Schwärzung der lichtempfindlichen Platte Fluoreszenzwirkungen hervorzurufen und die Luft elektrisch leitend zu machen.

Abb. 101. Die drei von einem Ra-Präparat ausgehenden Strahlenarten.

Die Strahlen selbst aber, die von diesem Radium ausgehen, erwiesen sich von so verwickelter Natur, daß es schwer fiel, sie zu entwirren. Am aufschlußreichsten war der Versuch, die Strahlen einem Magnetfeld auszusetzen. Dabei spalteten sie sich in drei Gruppen auf (Abb. 101). Ein Teil der Strahlen, die α-Strahlen, wurde vom Magnetfeld schwach abgelenkt in dem Sinne, wie eine positive bewegte Ladung getrieben wird; ein zweiter Teil, die β-Strahlen, wurden bedeutend stärker und zwar im entgegengesetzten Sinne abgelenkt: sie führten also negative Ladung mit sich. Der dritte Teil, die γ-Strahlen, wurde überhaupt nicht abgelenkt und erwies sich als ungeladen. Die bereits früher bei den Kathoden- und Kanalstrahlen besprochenen Verfahren gaben auch hier genaueren Aufschluß. Die α-Strahlen verhalten sich wie Kanalstrahlen mit verhältnismäßig großer Masse. Ihre spezifische Ladung war halb so groß, wie die eines Wasserstoffelektrons. Da es aber ein Element mit dem Atomgewicht 2 nicht gibt, so lag es nahe, daß es sich um Helium mit dem Atomgewicht 4, aber mit zwei Ladungseinheiten handelte. Weitere Versuche bestätigten diese Annahme. Die Geschwindigkeit der α-Strahlen ist keine einheitliche und reicht bis etwa $^1/_{10}$ Lichtgeschwindigkeit. Die β-Strahlen zeigten Verwandtschaft mit den Kathodenstrahlen, hatten die gleiche spezifische Ladung wie sie, und erwiesen sich

somit als eine Art von Kathodenstrahlen, jedoch von einer verhältnismäßig großen Geschwindigkeit, die bis nahe an die Lichtgeschwindigkeit heranreicht; es fehlen nur noch 0,2% daran. Die γ-Strahlen sind den Röntgenstrahlen verwandt, besitzen aber eine noch kleinere Wellenlänge wie sie, bis herab zu etwa 0,007 $\mu\mu$ (Abschn. 22).

Die α-Strahlen dringen in Luft nur bis zu einer Strecke von etwa 8 cm vor, die man als ihre Reichweite bezeichnet. β-Strahlen dringen mehrere Meter durch die Luft hindurch, die γ-Strahlen weit über 100 m.

Daneben gab das Radium aber noch etwas ab, das man als Emanation bezeichnete und das sich schließlich als ein Gas erwies, das bei tiefer Temperatur flüssig, bei -71^0 C fest wird. Es zeigt ein ihm eigenes Spektrum und mußte als ein neuer Grundstoff angesprochen werden. Seine Entstehung verdankt es nach der grundlegenden und später glänzend bestätigten Theorie von Rutherford und Soddy vom Jahre 1902 dem Zerfall des Radiums.

Merkwürdig war, daß das Radium dauernd eine höhere Temperatur aufweist als die Umgebung. So wurde nachgewiesen, daß ein Gramm davon stündlich eine Wärmemenge von etwa 134 gcal entwickelt, ohne daß man zunächst eine Gewichtsabnahme des Radiums bemerken konnte.

Die Aufklärung erfolgte schließlich durch den Nachweis, daß das Radium doch an Gewicht abnahm, eine Abnahme, die man freilich nicht durch einfache Wägung feststellen konnte. Wenn man aber das Gewicht der weggegangenen α-Strahlen in Betracht zog, so ergab sich, daß eine gegebene Radiummenge nach rund 1600 Jahren auf die Hälfte zurückgehen müsse.

Daraus läßt sich berechnen, daß 1 g Radium beim vollständigen Zerfall eine Wärmemenge von rund 4 Milliarden Grammkalorien entwickelt. Diese Zahl ist erstaunlich hoch, wenn man sie z. B. mit der Wärmemenge vergleicht, die 1 g Kohle beim Verbrennen liefert, und die nur rund 8000 gcal beträgt. Man hat daraus den Schluß zu ziehen, daß außerordentliche Energiebeträge im Innern des Radiumatoms und vermutlich auch im Innern der Atome anderer Elemente aufgespeichert sein müssen.

Sollten nun wirklich die α-Strahlteilchen aus geladenen Heliumatomen bestehen, so mußte es auch möglich sein, Helium aus der Emanation zu gewinnen. Dies gelang in der Tat Ramsay und Soddy im Jahre 1903, indem sie den Nachweis führten, daß die Emanation ein Gas aus sich heraus entstehen läßt, das sich spektralanalytisch als Helium erwies. Damit war zum erstenmal der Nachweis erbracht, daß aus einem chemischen Element, dem Radium, durch Zerfall ein anderes bekanntes chemisches Element, das Helium, entsteht.

Freilich mußte, wenn dem so war, der Atombegriff abgeändert werden. „Atom" heißt ja auf deutsch „nicht teilbar". Das Radium konnte zwar durch äußere Eingriffe nicht geteilt werden, aber es teilte sich von selbst. Es mag gleich hier vorweg bemerkt werden, daß es später Rutherford gelang, den Stickstoff durch Bestrahlung mit α-Teilchen zu zertrümmern, wobei Wasserstoffatome ausgetrieben wurden. Jetzt hatte man also auch das Atom durch äußere Eingriffe tatsächlich zerteilt. Der Atombegriff muß also dahin abgeändert werden, daß man sagt: Es ist ein selbständig auftretendes kleinstes Teilchen, das in den meisten Fällen eine unmeßbar große Lebensdauer besitzt, in manchen Fällen aber, wie beim Radium, eine meßbare, ja, wie es

sich später herausstellte, auch eine sehr kurze Lebensdauer haben kann. Das Atom ist daher nur ein verhältnismäßig beständiges (stabiles) Gebilde. Das Wesentliche, das von der früheren Begriffsbestimmung übrigbleibt, ist, daß es sich unabhängig von gleichartigen Atomen bewegen kann und von Atomen anderer Elemente durch besondere Eigentümlichkeiten (z. B. eigenes Spektrum) unterschieden ist.

Jetzt war die Bahn frei für ganz neuartige Untersuchungen. Es wurde festgestellt, daß die Emanation nicht der einzige, d. h. der endgültig letzte Zerfallsstoff des Radiums ist, sondern daß die Emanation selbst noch weiter zerfällt und sich nach einer ganzen Reihe von Zerfallsstufen in ein nicht mehr radioaktives, sondern beständiges Element vom Atomgewicht 206 umwandelt, was nahezu mit dem Atomgewicht des Bleies (207,2) übereinstimmt.

Weitere Untersuchungen erwiesen das Radium selbst als einen Abkömmling des Urans. Auch das Thorium wurde als Ausgangspunkt einer Zerfallsreihe festgestellt. Die folgende Tabelle zeigt die wesentlichen Züge der Zerfallsreihen von Uran und Thorium nach Stefan Meyer und Schweidler. Daneben gibt es noch

Radioaktive Zerfallsreihe des Urans und Thoriums nach Stefan Meyer und E. v. Schweidler.

Atomgewicht	Uran-Radiumfamilie	Strahlen	Atomgewicht	Thoriumfamilie	Strahlen
238,2	Uran I	α			
234	Uran X_1	β, γ			
234	Uran Z	β			
234	Uran X_2	β, γ	232,1	Thorium	α
234	Uran II	α	228	Mesothor I	β
...	Uran Y	β	228	Mesothor 2	β, γ
230	Ionium	α	228	Radiothor	$\alpha, (\beta)$
226	Radium	α	224	Thor X	α
222	Radiumemanation	α	220	Thoremanation	α
218	Radium A	α	216	Thor A	α
214	Radium B	β, γ	212	Thor B	β, γ
214	Radium C	α, β, γ	212	Thor C	α, β
214	Radium C′	α	212	Thor C′	α
210	Radium C″	β, γ	208	Thor C″	β, γ
210	Radium D	β, γ	208	Thor D (Thoriumblei)	keine
210	Radium E	β, γ			
210	Radium F (Polonium)	α			
206	Radium G (Radiumblei)	keine			

eine Zerfallsreihe des Aktiniums, das sich selbst aus dem Uran Y als Ausgangsstoff herleitet.

Auch die Thoriumreihe endet mit einem beständigen Stoff, der in seinem Atomgewicht 208 mit dem des Bleies nahezu übereinstimmt. Aber nicht bloß die Atomgewichte der Endstoffe der Radium- und Thorreihe stimmen mit dem des gewöhnlichen Bleies überein, sondern auch ihre chemischen Eigenschaften. Man spricht daher von Radiumblei und Thoriumblei und bezeichnet sie als Isotope (Abschn. 30) des gewöhnlichen Bleies.

30. Grundlagen zu den heutigen Vorstellungen über den Atombau.

Die merkwürdigen Entdeckungen auf dem Gebiete der Radioaktivität konnten nicht ohne Einfluß auf die Vorstellungen bleiben, die man sich über den Aufbau der Atome zu machen hat. Daß sie aus einer Anzahl positiv und negativ geladener Teilchen bestehen müssen, hatten schon die Versuche von Lenard bewiesen. Nun fand Rutherford 1911 bei der Beobachtung des Durchgangs von α-Strahlen durch dünne Metallblättchen, daß sie dabei gelegentlich sehr starke Ablenkungen erfahren, und diese Ablenkungen erwiesen sich um so stärker, je höher das Atomgewicht des durchquerten Blättchens war. Bald darauf gelang es Wilson, solche Ablenkungen

Das „periodische System" der Grundstoffe.[1])

	I a	I b	II a	II b	III a	III b	IV a	IV b	V a	V b	VI a	VI b	VII a	VII b	VIII a	VIII b
1	**1** H 1,008															**2** He 4,00
2	**3** Li 6,94		**4** Be 9,1			**5** B 10,90		**6** C 12,00		**7** N 14,008		**8** O 16,00		**9** F 19,00		**10** Ne 20,2
3	**11** Na 23,00		**12** Mg 24,32			**13** Al 27,1		**14** Si 28,3		**15** P 31,04		**16** S 32,07		**17** Cl 35,46		**18** A 39,88
4	**19** K 39,10		**20** Ca 40,07		**21** Sc 45,10		**22** Ti 48,1		**23** V 51,0		**24** Cr 52,0		**25** Mn 54,93		**26** Fe 55,84 **27** Co 58,97 **28** Ni 58,68	
		29 Cu 63,57		**30** Zn 65,37		**31** Ga 70,1		**32** Ge 72,5		**33** As 74,96		**34** Se 79,2		**35** Br 79,92		**36** Kr 82,92
5	**37** Rb 85,5		**38** Sr 87,63		**39** Y 88,7		**40** Zr 90,6		**41** Nb 93,5		**42** Mo 96,0		**43** Ma		**44** Ru 85,5 **45** Rh 102,9 **46** Pd 106,7	
		47 Ag 107,88		**48** Cd 112,40		**49** In 114,8		**50** Sn 118,70		**51** Sb 120,2		**52** Te 127,5		**53** J 126,92		**54** X 130,2
6	**55** Cs 132,8		**56** Ba 137,37		**57—71** selt. Erden		**72** Hf 178,6		**73** Ta 181,5		**74** W 184,0		**75** Re		**76** Os 190,9 **77** Ir 193,1 **78** Pt 195,2	
		79 Au 197,2		**80** Hg 200,6		**81** Tl 204,0		**82** Pb 207,20		**83** Bi 209,00		**84** Po		**85**		**86** Em 222
7	**87**		**88** Ra 226,0		**89** Ac 226,5		**90** Th 232,12		**91** Pa 230,5		**92** U 238,18					

[1]) Die halbfetten Zahlen bedeuten die Ordnungszahlen. Die gewöhnlichen Zahlen die Atomgewichte.

von α-Teilchen beim Zusammenstoß mit anderen Molekeln sichtbar zu machen. Er benutzte dazu die Eigenschaft des Dampfes, sich mit Vorliebe auf elektrisch geladenen Teilchen zu verdichten. Er ließ daher in dem Augenblick, wo zusammengedrängte, feuchte Luft Gelegenheit zur Ausdehnung und Tröpfchenbildung bekam, α-Teilchen in die Dampfkammer eintreten. Zugleich wurde die Kammer photographiert, und es ergab sich, daß die Bahn der α-Teilchen auf diese Art sichtbar gemacht werden kann. Man sieht, daß das Teilchen teilweise lange Strecken zurücklegt, ohne wesentlich abgelenkt zu werden, während es gelegentlich zu einer sehr starken Ablenkung kommt. Ablenkungen von diesem Betrage waren nicht denkbar durch Elektronen, da bei deren geringer Masse die Elektronen und nicht die α-Teilchen eine starke Ablenkung hätten erfahren müssen. Es mußten also positiv geladene Teilchen sein, die die Ablenkung bewirkten, und diese Ladung mußte auf einem Teilchen mit verhältnismäßig großer Masse sitzen. So kam Rutherford zu der Annahme, daß die positive Ladung zugleich mit der Hauptmasse des Atoms stark zusammengedrängt sein müsse, während die negativen Ladungen in Form von Elektronen den Kern umgeben.

Man hat also anzunehmen, daß das Atom aus einem positiv geladenen Kern und aus einer Hülle von Elektronen besteht.

Eine weitere Aufklärung brachte die Untersuchung der Röntgenserien (vgl. Abschn. 22) verschiedener Metalle durch Moseley. Er fand dabei, daß die Schwingungszahl bestimmter Linien in gesetzmäßiger Weise mit dem Atomgewicht zunimmt. Wenn er die Elemente annähernd so, wie sie in der Reihe von Lothar Meyer und Mendelejeff angeordnet sind, numeriert, so zeigte sich, daß die Wurzel aus der Schwingungszahl der Röntgenlinien verhältig ist der Zunahme der „Atomnummern" oder „Ordnungszahlen".

Nun bestand bei jener Reihe der Elemente (siehe umstehende Tabelle) nicht überall eine genaue Übereinstimmung zwischen der Stellung der Elemente, die man erhält, wenn man genau nach dem Atomgewicht anordnet, und der Stellung, die man erhält, wenn man die chemischen Eigenschaften berücksichtigt. So hat Kobalt ein größeres Atomgewicht als Nickel, obgleich aus chemischen Gründen die Reihe Eisen, Kobalt, Nickel und nicht Nickel, Eisen, Kobalt heißen müßte. Noch an drei weiteren Stellen des Systems wäre in diesem Sinne eine Umstellung vorzunehmen. Nun erwiesen die Moseleyschen Untersuchungen, daß sein Gesetz sich auf die Atomnummern und nicht auf das Molekulargewicht bezieht.

Das Moseleysche Gesetz erleichterte auch die Auffindung der noch fehlenden Elemente durch Röntgenlinien. Auf diesem Wege wurde 1922 das Hafnium (vgl. Abschn. 22) durch Hevesy und Coster in Kopenhagen entdeckt und (1925) wurden von Noddack und Tacke in Berlin zwei manganähnliche Elemente aufgefunden, wofür sie die Namen Masurium und Rhenium vorschlugen.

Im Jahre 1913 kam van der Broek zu der Annahme, daß die Atomnummern oder Ordnungszahlen zu gleicher Zeit die Zahl der Kernladungen bestimmen müssen.

Eine glänzende Bestätigung dieser Auffassung brachte Chadwick im Jahre 1920, indem er durch die Ablenkung der α-Strahlen, die durch dünne Metallblättchen hindurchgegangen waren, die Kernladungszahlen einiger Elemente bestimmte und mit den Ordnungszahlen in Übereinstimmung fand.

Die Namen und Zeichen der Grundstoffe nach der „Ordnungszahl" angeordnet.

1.	Wasserstoff	H	32.	Germanium	Ge	63.	Europium	Eu
2.	Helium	He	33.	Arsen	As	64.	Gadolinium	Gd
3.	Lithium	Li	34.	Selen	Se	65.	Terbium	Tb
4.	Beryllium	Be	35.	Brom	Br	66.	Dysprosium	Dy
5.	Bor	B	36.	Krypton	Kr	67.	Holmium	Ho
6.	Kohlenstoff	C	37.	Rubidium	Rb	68.	Erbium	Er
7.	Stickstoff	N	38.	Strontium	Sr	69.	Thulium	Tu
8.	Sauerstoff	O	39.	Yttrium	Y	70.	Ytterbium	Yb
9.	Fluor	F	40.	Zirkonium	Zr	71.	Cassiopeium	Cp
10.	Neon	Ne	41.	Niobium	Pb	72.	Hafnium	Hf
11.	Natrium	Na	42.	Molybdän	Mo	73.	Tantal	Ta
12.	Magnesium	Mg	43.	Masurium	Ma	74.	Wolfram	W
13.	Aluminium	Al	44.	Ruthenium	Ru	75.	Rhenium	Re
14.	Silicium	Si	45.	Rhodium	Rh	76.	Osmium	Os
15.	Phosphor	P	46.	Palladium	Pd	77.	Iridium	Ir
16.	Schwefel	S	47.	Silber	Ag	78.	Platin	Pt
17.	Chlor	Cl	48.	Cadmium	Cd	79.	Gold	Au
18.	Argon	A	49.	Indium	In	80.	Quecksilber	Hg
19.	Kalium	K	50.	Zinn	Sn	81.	Thallium	Tl
20.	Calcium	Ca	51.	Antimon	Sb	82.	Blei	Pb
21.	Scandium	Sc	52.	Tellur	Te	83.	Wismut	Bi
22.	Titan	Ti	53.	Jod	J	84.	Polonium	Po
23.	Vanadium	Va	54.	Xenon	X	85.	—	—
24.	Chrom	Cr	55.	Cäsium	Cs	86.	Emanation	Em
25.	Mangan	Mn	56.	Barium	Ba	87.	—	—
26.	Eisen	Fe	57.	Lanthan	La	88.	Radium	Ra
27.	Kobalt	Co	58.	Cer	Ce	89.	Actinium	Ac
28.	Nickel	Pi	59.	Praseodym	Pr	90.	Thorium	Th
29.	Kupfer	Cu	60.	Neodym	Nd	91.	Protactinium	Pa
30.	Zink	Zn	61.	Illinium	Ill	92.	Uran	U
31.	Gallium	Ga	62.	Samarium	Sm			

„selt. Erden" (57–62)

„seltene Erden" (63–71)

Ebenso werden durch diese Auffassung die merkwürdigen, 1913 von Soddy und Fajans entdeckten Gesetze der Verschiebungen verständlich, die im periodischen System auftreten bei radioaktiven Elementen, wenn sie eine α- oder β-Strahlung von sich geben. Da diese Strahlung aus dem Kern heraus vor sich geht, so folgt, daß die Abgabe eines α-Teilchens den Verlust von zwei positiv elektrischen Einheiten bedingt. Die Ordnungszahl muß sich daher um 2 verringern und das Element in der periodischen Reihe um zwei Stellen nach links verschieben. Umgekehrt bedeutet die Abgabe eines β-Strahlteilchens den Verlust des Kernes von einer negativen Einheit, was mit dem Gewinn einer positiven Einheit gleichbedeutend ist. Dadurch entsteht eine Verschiebung im periodischen System um eine Stelle nach rechts.

Hat nun in der Reihe der Umwandlungen erst der Verlust eines α-Teilchens, dann der von zwei β-Teilchen stattgefunden, so rückt das neue Element wieder an die alte Stelle zurück. Es wird also ein Element von gleicher Ordnungszahl, aber von einem um 4 verminderten Atomgewicht entstehen. Da nun die chemischen Eigenschaften des Elementes lediglich von der Kernladungszahl abhängen, so entsteht

also ein Element mit anderem Atomgewicht, aber an der gleichen Stelle des periodischen Systems. Man kommt also auf diese Art zu einem „isotopen Element". Die Isotopen sind überhaupt auf diese Art erst entdeckt worden. In Abschnitt 29 war von Isotopen die Rede, die auf andere Weise festgestellt wurden.

IV. Der Weg zum einheitlichen Aufbau der Physik.

31. Die Erweiterung unserer Sinne durch die Physik.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich, daß die Physik die Gesetze der Himmelskörper ebensowohl wie die der kleinsten Stoffteilchen, der Atome und Elektronen, in weitgehendem Maße ermittelt hat und daß es kaum eine Erscheinung der Physik gibt, die vereinzelt dastände und nicht einer größeren Gruppe von Erscheinungen untergeordnet wäre. Und doch bietet die heutige Physik noch den Anblick eines recht bunten Bildes, indem nebeneinander die verschiedensten Grundsätze benutzt werden, ja auch solche, die einander widersprechen.

Da erhebt sich die Frage, wird sie noch einmal zu einem einheitlichen Aufbau aller Erscheinungen gelangen? Es tritt also die Frage auf, ob wir uns allmählich von der Natur unserer Sinne unabhängig zu machen vermögen. Da muß beachtet werden, daß die Physik die Mittel an die Hand gegeben hat, unsere Sinne in der mannigfaltigsten Weise zu erweitern.

Die Empfindlichkeit eines Sinnes kann man nach Fechner kennzeichnen durch die Unterschiedsschwelle, d. h. durch den verhältnismäßigen Zuwachs des Reizes, der eben noch bemerkt wird, teilweise durch die Reizschwelle, d. i. durch denjenigen Reiz, der eben noch genügt, um das empfindende Organ zu reizen. Z. B. fühlt man bei ruhig gehaltener Hand, die mit 100 g belastet ist, erst eine Zunahme der Last bei Hinzufügung von 30 g. Die Unterschiedsschwelle ist also 0,3. Unsere empfindlichste Waage gestattet aber, bei einer Belastung von 1 kg noch den zweihundertsten Teil eines Milligramms nachzuweisen. Ihre Unterschiedsschwelle ist also ein Zweihundertmillionstel.

Die Reizschwelle unserer Haut an den empfindlichsten Teilen liegt bei etwa 1 mg. Unsere empfindlichsten Mikrowaagen gestatten noch den vierten Teil eines Millionstel Milligramms nachzuweisen.

Die Erde muß schon merklich erschüttert werden, bevor wir es bemerken. Unsere Seismometer gestatten den Nachweis von Erdbeben, deren Quelle um ein halbes Erdenrund von der Stelle der Wahrnehmung entfernt liegt. Ja man kann mit ihnen mit gewisser Näherung sogar die Lage des Erdbebenherdes feststellen.

Das Auge vermag zwei um $^1/_{40}$ mm voneinander getrennte Striche noch getrennt wahrzunehmen in der natürlichen Sehweite von 25 cm. Das Mikroskop läßt noch Abstände von ungefähr ein Zehntausendstel Millimeter erkennen. Das Ultramikroskop gestattet sogar noch Teilchen von 5 Millionstel Millimeter Durchmesser wahrzunehmen.

Unser Auge vermag von Rot bis Violett ein Spektrum wahrzunehmen, dessen Grenzschwingungszahlen ungefähr im Verhältnis von Grundton zu Oktave stehen.

Die Physik hat uns ein Spektrum erschlossen von beliebig langen Wellenlängen bis herunter zu denen der γ-Strahlen von einer Wellenlänge von sieben Tausendstel eines Millionstel Millimeters. Die mannigfaltigsten Apparate dienen dazu, um die verschiedenen Gebiete von Wellenlängenbereichen sichtbar zu machen.

Unsere Zeitschätzung reicht bei rasch hintereinander erfolgenden Schlägen bis zu etwa fünfhundertstel Sekunde. Mit Hilfe von elektrischen Wellen lassen sich noch Zeitunterschiede von ein hundertmillionstel Sekunde nachweisen.

Unser Wärmesinn läßt etwa $^1/_3{}^0$ C Temperaturunterschied noch erkennen. Unsere künstlichen Thermometer und Bolometer gestatten, noch weniger als ein millionstel Grad Celsius Temperaturunterschied festzustellen.

Einen magnetischen Sinn besitzen wir überhaupt nicht. Die Magnetometer lassen die feinsten Unterschiede des magnetischen Feldes erkennen. Auch für die Elektrizität haben wir keinen unmittelbaren Sinn, es sei denn, daß man die Nervenzuckungen bei elektrischen Schlägen als solchen auffassen will, die aber schon ziemlich großer Energiebeträge bedürfen, um empfunden zu werden.

Unsere Galvanometer und Elektrometer gestatten, noch kleinste Elektrizitätsmengen nachzuweisen, die auf Massen sitzen, die sich auf ein quadrillionstel Milligramm bemessen; das ist eine Masse, die sich zu der des Pfennigstückes etwa verhält, wie die Masse des Pfennigstückes zur Masse der Erde. Die Physik läßt nichts davon bemerken, daß unsere Sinne elektrischen Vorgängen gegenüber so schlecht ausgerüstet sind. Gerade über die elektrischen Erscheinungen sind wir vielfach genauer unterrichtet als über irgendwelche andere.

Diese außerordentliche Erweiterung der Sinne führt dazu, daß wir uns von den unmittelbaren Sinneswahrnehmungen allmählich immer mehr unabhängig machen können. Dies tritt denn auch deutlich bei der Entwicklung der Physik zutage. Noch zu Beginn des 19. Jahrhunderts war die Physik stark von der beschränkten Natur unserer natürlichen Sinne abhängig. Da standen unvermittelt nebeneinander die Erscheinungen des Schalles, die wir mit dem Gehör aufnehmen, die des Lichtes, dessen Empfindung uns das Auge vermittelt, die Erscheinungen der Wärme, die wir durch den Wärmesinn erkennen und die Erscheinungen der Mechanik, die wir zum Teil mit dem Drucksinn, zum Teil mit dem Auge wahrnehmen. Da die Mechanik sich nun aufbaut auf die Vorstellung von körperlichen Massen, so wurde sie vorbildlich für die Bilder, die man sich von den anderen Erscheinungen machte. So erschuf man in Gedanken neben dem gewöhnlichen Stoff einen besonderen Wärmestoff, einen besonderen Lichtstoff, zwei elektrische Stoffe und zwei magnetische Stoffe, im ganzen also nicht weniger als 7 unvermittelt nebeneinanderstehende Stoffe.

Im Laufe der Entwicklung ist einer dieser „unwägbaren" Stoffe nach dem anderen gefallen. Zunächst fiel der Lichtstoff, zu dessen Ersatz man dann freilich wieder den alles durchdringenden Äther brauchte. Der Wärmestoff wurde überflüssig, als man erkannte, daß die Erscheinungen der Wärme sich auf die Bewegungen der kleinsten Stoffteilchen zurückführen lassen. Die Oerstedsche Entdeckung der Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom gestattete, den Magnetismus auf den elektrischen Strom zurückzuführen. Die elektromagnetische Lichttheorie und ihre Bestätigung durch Hertz vereinigten die elektromagnetischen Erscheinungen innig mit denen des Lichtes. Heute haben wir eine nahezu einheitliche elektrische Physik, da ja

auch der Stoff als aus elektrischen Grundteilchen bestehend angesehen wird, und man ist dabei, alle Molekularkräfte und chemischen Kräfte auf elektrische Kräfte zurückzuführen. Sogar die Schwerkraft glaubte man auf rein elektrostatische Kräfte zurückführen zu können. Zöllner nahm zu diesem Zweck an, daß die Anziehung entgegengesetzter Ladungen die Abstoßung der gleichnamigen ein wenig überwöge. Später hat H. A. Lorentz diesen Gedanken aufgenommen und in die Form der Maxwellschen Theorie umgekleidet. Es hat sich aber damit das Fortschreiten des Merkurperihels in dem durch Leverrier festgestellten Betrag nicht erklären lassen. Der Verfasser glaubt, daß die Schwerkraft eine Erscheinung eigener Art ist, die sich nicht auf elektrische Kräfte zurückführen läßt und zwar im Zusammenhang mit seiner eigenen im folgenden noch erwähnten Theorie.

32. O. Wieners universale Ätherтheorie.

Aber selbst, wenn eine solche Zurückführung möglich wäre, tritt die Frage auf, ob wir ewig gezwungen sein werden, die Elektrizität selbst als etwas nicht weiter Zurückführbares anzusehen.

Diese Frage hängt zusammen mit der nach der Natur der Kräfte überhaupt. Wie wir sahen, ist es dank den Forschungen Faradays, Maxwells und Hertz' gelungen, die elektrischen Fernekräfte auf Nahekräfte zurückzuführen; tritt an irgendeiner Stelle des Raumes eine elektrische Störung auf, so muß sich von ihr erst eine Welle nach einer anderen Stelle ausbreiten, bevor dort eine Wirkung auftreten kann. Will man es mit der Beseitigung der Fernekräfte ernst nehmen, so bleibt nichts anderes übrig, als den ganzen Raum stetig von einem einheitlichen Stoff erfüllt zu denken, dem Äther.

Dann fragt es sich aber, wie mit einer solchen Vorstellung diejenige von Atomen vereinbar ist, von Atomen, die wir uns jetzt freilich nicht mehr als unzerstörbare Gebilde, sondern als aus kleineren Bestandteilen zusammengesetzt zu denken haben, die ihrerseits aber immerhin die Rolle von verhältnismäßig selbständigen Gebilden, von positiven und negativen Elektronen spielen. Die Frage nach der Vereinbarkeit der stetigen Raumerfüllung mit dem Auftreten selbständiger und voneinander getrennten Gebilden bleibt also offen.

In dieser Richtung waren die Untersuchungen von Helmholtz über Wirbelringe in einer reibungslosen, unzusammendrückbaren Flüssigkeit sehr aufklärend. Das Innere eines solchen Wirbels kennzeichnet sich durch das Vorhandensein seiner drehenden oder Wirbelbewegung, während da, wo kein Wirbel vorhanden ist, die Teilchen sich zwar gegeneinander verschieben können, ohne daß aber eine wirbelartige Drehung vorhanden wäre. Helmholtz zeigte nun, daß Wirbelringe, ähnlich wie sie der Raucher hervorbringen kann, in einer solchen Flüssigkeit unzerstörbar sind. Ihr Inneres ist von dem Äußeren durch die Wirbelnatur getrennt und doch findet stetige Raumerfüllung der bewegten Flüssigkeit statt und die Geschwindigkeiten der bewegten Flüssigkeit innerhalb und außerhalb des Wirbelringes gehen stetig ineinander über. Diese Wirbelringe wirken selbstverständlich aufeinander durch Vermittlung der zwischenliegenden Flüssigkeit. So ist also die Vorstellung von

selbständigen Bewegungsgebilden mit der Vorstellung einer stetigen Raumerfüllung durchaus vereinbar.

Jetzt ergibt sich also die Frage, ob wir genötigt sind, stoffliche Massen und elektrische Ladungen als unzurückführbare Dinge anzusehen, nachdem die früher von der Physik noch angenommenen „Stoffe" sich als überflüssig erwiesen haben. Raum und Zeit brauchen wir auf alle Fälle zur Erklärung der Erscheinungen. Sollte es also nicht möglich sein, alle Vorgänge als die Veränderungen eines Beweglichen in Raum und Zeit aufzufassen?

Der Versuch einer solchen Theorie ist vor einigen Jahren durch den Verfasser unternommen worden. Danach ist der Raum erfüllt mit einem einheitlichen Beweglichen, dem Äther, dessen Raumteilchen sich voneinander durch nichts unterscheiden, als durch die Größe und Richtung ihrer Geschwindigkeit, und zwar ist diese Geschwindigkeit durchaus als eine Eigengeschwindigkeit oder eine Absolutgeschwindigkeit im Gegensatz zur Relativitätstheorie aufzufassen.

Ein solcher Standpunkt muß unbedingt eingenommen werden, wenn man die Außenwelt nicht aller Wirklichkeit entkleiden will. Denn wenn diese auf die Geschwindigkeit eines Beweglichen zurückgeführt werden soll, so würde sie samt der Geschwindigkeit verschwinden, wenn die Geschwindigkeit eines beliebigen Raumteilchens bei Leugnung von Absolutgeschwindigkeiten durch geeignete Wahl der Geschwindigkeit des Beobachters zum Verschwinden gebracht werden könnte. Selbstverständlich muß dabei an der grundsätzlichen Forderung festgehalten werden, daß die Absolutgeschwindigkeiten auf einem noch zu eröffnenden Wege ermittelt werden können. Seien nun die absoluten Geschwindigkeiten in einem Zeitpunkt gegeben, so ist das Gesetz festzustellen, nach dem der vorhandene Bewegungszustand sich mit der Zeit ändert. Es liegt nahe, dafür ein Gesetz, ähnlich dem Hertzschen Gesetz der geradesten Bahn zu verwenden. Die Folgerungen aus der mathematischen Fassung dieses Gesetzes sind außerordentlich einfache. Zunächst ergibt sich, daß jedes Raum- oder Ätherteilchen seine absolute Geschwindigkeit mit der Zeit vollständig beibehält. Es vermag nur seine Richtung zu ändern, wie ein Eisenbahnzug, der mit gleichbleibender Geschwindigkeit auf einem gekrümmten Geleise dahinfährt. Die Richtung der Beschleunigung, die das Teilchen erfährt, muß daher stets senkrecht stehen zur Richtung seiner Geschwindigkeit, ebenso wie der Eisenbahnzug eine Beschleunigung erfährt in der Richtung des Krümmungshalbmessers des Geleises, also senkrecht zu seiner Eigengeschwindigkeit.

Diese Feststellung verbürgt zunächst das Gesetz der Erhaltung der Energie, da die Energie eben letzten Endes nur noch aus Bewegungsenergie besteht.

Man wird auf den ersten Anblick gegen dieses Gesetz einwenden, daß es ja dann keine beschleunigten Bewegungen in der Richtung der Bewegung selbst geben könne, wie wir sie tatsächlich beim fallenden Stein beobachten. Demgegenüber ist aber zu bedenken, daß die fortschreitende Bewegung eines ganzen Stoffgebildes durchaus nicht seine einzige Bewegung ist, sondern daß man anzunehmen hat, wie bei den Helmholtzschen Wirbelringen, daß dieses Gebilde in sich noch bewegt sei. In diesem Fall ist es sehr wohl möglich, daß eine geradlinige Beschleunigung des ganzen Bewegungsgebildes eintritt, ohne daß irgendein Teilchen selbst eine solche geradlinige Beschleunigung erfährt. Aber es wird klar, daß dann die relative Geschwindig-

keit der inneren Bewegung sich ändern muß und damit zugleich die Form des stofflichen Bewegungsgebildes. Auf diesem Wege könnte die Lorentz-Zusammenziehung eine Erklärung finden, d. h. die Erscheinungen, die die Relativitätstheorie auf ganz anderem Wege erklärt.

Mit der Aussage, daß die Beschleunigung senkrecht stehe zur Geschwindigkeit, ist ihre Richtung noch nicht eindeutig bestimmt. Sie wird es durch die weitere Folgerung aus dem Grundgesetz, daß die Beschleunigung in der Ebene der Strömungslinie liegen muß, die durch den betrachteten Punkt hindurchgeht. Unter Strömungslinie versteht man ähnlich der Kraftlinie eine Linie, die in jedem ihrer Punkte durch ihre Tangente die Richtung der zu einer bestimmten Zeit stattfindenden Bewegung anzeigt.

Es bleibt nur noch übrig, die Größe der Beschleunigung zu bestimmen. Diese folgt aus der Bestimmung, daß der Rauminhalt des bewegten Ätherteilchens sich mit der Zeit nicht ändern darf.

Durch dieses Gesetz ist also die Beschleunigung nach Richtung und Größe jedes Teilchens festgelegt, und damit die Änderung der Bewegung mit der Zeit. Ist also in einem bestimmten Augenblick die absolute Bewegung des Äthers an allen Punkten des Raumes bekannt, so läßt sich daraus der Ablauf der Bewegung grundsätzlich für alle Zukunft berechnen.

Die Theorie führt auch ohne Hinzuziehung neuer Annahmen zu einer Erklärung der Schwerkraft, die mit dem Vorhandensein „stofflicher" Masse unmittelbar verknüpft ist. Eine solche Stoffmasse liegt überall vor, wo die Wirbelnatur der Strömung über die nicht wirbelnde Strömung den Überschuß hat. Im freien Äther, in dem keine Stoffmassen vorhanden wären, würde der Wirbelanteil der Strömung sich mit dem nicht wirbelnden Anteil gerade ins Gleichgewicht setzen. Aus diesen Vorstellungen folgt das Newtonsche Gesetz der Schwere, ohne daß deshalb Abweichungen davon, wie sie in der Merkurbahn zutage treten, ausgeschlossen wären, weil auch nach dieser Theorie die träge Masse mit der Geschwindigkeit veränderlich erscheint, da eben der verhältnismäßige Anteil von Wirbel- und Nichtwirbelbewegung sich mit der Geschwindigkeit eines Teilchens verändern kann.

Inwiefern die Schwere durch die neue Theorie auf Nahewirkungen zurückgeführt ist, erkennt man daraus, daß jede stoffliche Masse um sich herum ein gekrümmtes Strömungsfeld bedingt, dessen Hohlseite der Masse zugekehrt ist. Dadurch verrät sie ihre Lage der fernen Masse, die nach der Hohlseite hin eine Beschleunigung erfährt.

Neuerdings gelang es dem Verfasser auch nachzuweisen, daß dieser Äther Erscheinungen zuläßt, die man nach der alten Vorstellung als durch elastische Kräfte bedingt ansehen würde. Es ist dadurch die Aussicht eröffnet, die Ausbreitung von Lichtwellen zu erklären auf Grund eines scheinbar elastischen Verhaltens des Äthers, das trotzdem mit seiner Flüssigkeitsnatur nicht im Widerspruch steht, ein Widerspruch, den man bei der Fresnelschen elastischen Lichttheorie gegenüber der freien Bewegung der Himmelskörper durch den Äther gesehen hat (s. Abschnitt 20).

Noch liegt diese Theorie in den allerersten Anfängen. Insbesondere läßt sie vorläufig nur ahnen, auf welcherlei Bewegungszustände die elektrischen Erscheinungen zurückgeführt werden können. Sie ist also noch weit davon entfernt, das ganze

Erscheinungsgebiet der Physik aus sich heraus abzuleiten. Da sie aber die Züge der alten Physik mit denen der neuen Physik vereinigt, so strebt sie nach der gleichen Vereinheitlichung des gesamten physikalischen Weltbildes, die, wenn auch auf derzeit ganz anderen Wegen, die neuesten physikalischen Theorien der sogenannten Quantenmechanik und Wellenmechanik erreichen wollen.

33. Die neuesten physikalischen Erkenntnisse und Theorien.

Von Prof. Dr. Karl Lichtenecker
Deutsche technische Hochschule, Prag.

Die Entwicklung der Physik in den letzten fünf Jahren ist allerdings zunächst einen anderen Weg gegangen, als den eben geschilderten, dessen Ausbau das Lebenswerk O. Wieners gebildet hat. Um die Wende des 20. Jahrhunderts drängte sich mit fortschreitender Verfeinerung der Experimentierkunst den Physikern eine neuartige Vorstellung, und zwar auf verschiedenen Gebieten der Physik nahezu gleichzeitig mit gebieterischer Notwendigkeit auf. War man schon früher genötigt gewesen, Materie und Elektrizität als bestehend aus einzelnen diskreten Teilchen, Atomkernen und Elektronen anzusehen, so wurde man jetzt in der Atomisierung noch einen wesentlichen Schritt weitergeführt, und zwar zur Atomisierung des Geschehens.

Als erster führte diese neue Vorstellung Planck auf dem Gebiete der Wärmestrahlung ein. Sollte die Verteilung der Lichtenergie, die ein glühender Körper ausstrahlt, auf die einzelnen Wellenlängenbezirke und die Verschiebung dieser Verteilung mit wachsender Temperatur nach der violetten Seite des Spektrums (Abschnitt 22) mit den verfeinerten experimentellen Erfahrungstatsachen übereinstimmend dargestellt werden, so erwies sich dies nur möglich, wenn man annahm, daß die einzelnen strahlenden Elementargebilde die Energie nur in ganz bestimmten Mengen aufnehmen und auch wieder nur in bestimmten Mengen ausstrahlen (emittieren) können. Das besonders Fremdartige an dieser Vorstellung war aber nicht diese Zerteilung der Energie in kleinste Einzelteile von genau bestimmter Größe, entsprechend den Atomen. Die neue Theorie mußte vielmehr festsetzen, daß die Energie nicht wie die Materie und wie die Elektrizität aus lauter untereinander gleichen Elementarmengen besteht, sondern daß die Größe der Energieelemente untereinander verschieden ist, abhängig von der Schwingungszahl (Frequenz) des elementaren Vorganges, bei dem die Aufnahme oder Abgabe der Energie erfolgt. Das jeweils von einem Elementarsystem zum anderen übergehende Energieelement ε, multipliziert mit der Dauer einer Schwingung $T = \frac{1}{\nu}$, also das was der Physiker die elementare Wirkung nennt, das sollte nach dieser Vorstellung die für alle Naturvorgänge im ganzen Universum gleiche und unveränderliche Grundgröße sein. Man nennt sie das Plancksche Wirkungsquantum und bezeichnet es mit $h = 6{,}5 \cdot 10^{-27}$ Erg.sec.

Diese Vorstellung der Planckschen Quantentheorie gestattete sofort neuerschlossene Gebiete der experimentellen Forschung zu überblicken und weiter auszubauen. Sie können hier nur genannt werden: Die Veränderung der spezifischen Wärme fester Körper bei den neuerdings erreichten tiefsten Temperaturen (Ab-

schnitt 10), die Erscheinungen der Lichtelektrizität (Abschnitt 26), vor allem aber die Ergebnisse der modernen Spektralphysik (Abschnitt 22). Die Zahl der aufs genaueste ausgemessenen Spektrallinien ging bereits in die Hunderttausende, ohne daß ein Führer durch die Wirrnis der zugehörigen Frequenzen bzw. Wellenlängenzahlen vorhanden gewesen wäre. Dieses ganze riesige Gebiet wurde mit einem Schlage erhellt, als Nils Bohr die Vorstellungen der Planckschen Quantentheorie auf die Bahnen der Elektronen um ihre Atomkerne übertrug. Auch hier sollten nur solche Übergänge von einer Bahn zur anderen möglich sein, bei denen die abgegebene oder aufgenommene Energie ε ein ganzzahliges Vielfaches des Planckschen Wirkungsquantums h multipliziert mit der Frequenz ν des ein- oder ausgestrahlten Lichtes ist:

$$\varepsilon = n \cdot h \cdot \nu .$$

Mit besonderem Erfolge wurden die Gedanken der Quantentheorie auf die Lichtelektrizität durch Einstein übertragen. Die Auffassung Einsteins ging insofern noch weit über Max Planck und Nils Bohr hinaus, als er die Quantisierung nicht auf Energieumsetzungen an den materiellen Atomen beschränkte, sondern für die Energiequanten vom Betrage $h \cdot \nu$ selbständige Existenz, auch losgelöst von der wägbaren Materie, forderte. Dies sind die Einsteinschen Lichtquanten, die von der Lichtquelle als eine Art Nadelstrahlung ausgehen, und sich nicht auf der Wellenfront gleichförmig ausbreiten, sondern ihr ein diskontinuierliches, gesprenkeltes Gepräge geben. Diese Auffassung war aber unerläßlich nötig, um die experimentellen Tatsachen der lichtelektrischen Erscheinungen verstehen zu können. Würde sich die Lichtenergie nämlich gleichförmig über die Wellenfläche ausbreiten, so würde in einigermaßen großer Entfernung von einer schwachen Lichtquelle nie soviel Lichtenergie auf ein einzelnes Atom auftreffen, um die bekannte Loslösungsarbeit des lichtelektrischen Elektrons aus der Metalloberfläche liefern zu können. Die Erfahrung lehrt aber, daß die Elektronen die Metalloberfläche sogar noch mit einer namhaften Geschwindigkeit verlassen, deren Betrag gar nicht von der Lichtstärke, sondern allein von der Frequenz ν des auslösenden Lichtes abhängt, während die Lichtstärke lediglich die Zahl der ausgelösten Elektronen bestimmt.

Nur zögernd folgten die führenden Physiker dieser überaus kühnen Folgerung Einsteins. War doch damit eine Preisgabe der tausendfach bewährten Wellentheorie des Lichtes, wenigstens in ihrer alten, unmittelbaren Deutung unweigerlich verbunden. Allerdings können auch nach der Einsteinschen Lichtquantentheorie die klassischen Sätze der Wellentheorie aufrechterhalten werden, nur beziehen sich ihre Aussagen, wie z. B. der Satz von der Energieabnahme mit dem Quadrate der Entfernung, nicht mehr auf die einzelnen Punkte der Wellenfläche, sondern auf den über einen ganzen, wenn auch kleinen Flächenteil der Wellenfront genommenen Energiemittelwert.

Damit war aber der physikalischen Theorie eine Neues, bisher nicht einmal als Möglichkeit in Betracht Gezogenes geschenkt: die Erkenntnis, daß ein physikalischer Vorgang sehr wohl gleichzeitig den Charakter einer Wellenstrahlung und den einer korpuskularen Strahlung haben kann, je nach dem Standpunkt, von dem

aus man den Vorgang betrachtet. So hat der durch Jahrhunderte sich hinziehende Streit zwischen der Wellentheorie und der Emissionstheorie des Lichtes einen unerwarteten, ausgleichenden Abschluß gefunden.

Aber dieser Abschluß wurde sofort wieder zum Ausgangspunkt einer neuen, noch kühneren Konzeption. Wenn der Lichtausbreitung, deren Wellennatur durch so lange Zeit als unumstößlich gesichert gegolten hat, doch gleichzeitig ein korpuskularer Emissionsvorgang zugrunde liegt, ist es dann nicht möglich, daß auch den mechanischen Bewegungsvorgängen der Korpuskeln, also der Atome und der Elektronen, eine solche Doppelnatur anhaftet, daß also auch umgekehrt den mechanischen Bewegungsvorgängen verborgene Wellenvorgänge zugrunde liegen? Eine tiefe Verwandtschaft zwischen den allgemeinsten Gleichungen der Mechanik einerseits, der Optik andererseits, konnte zur Durchführung eines solchen theoretischen Deutungsversuches ermutigen; ihm verdanken wir die Wellenmechanik des Herzogs de Broglie, die durch Schrödinger eine erfolgreiche Um- und Ausgestaltung erfuhr. Ein etwa zur gleichen Zeit unternommener Versuch Heisenbergs, unter Verzicht auf alle anschaulichen Hilfsvorstellungen, nur aus den unmittelbar beobachtbaren Größen auf rein formal-mathematischem Wege, ein System der Atomphysik aufzubauen, läuft, wie sich erwies, auf das gleiche Endergebnis, wie es Schrödinger erhalten hatte, hinaus.

Kaum waren diese theoretischen Ansätze aufgestellt, als ihre unmittelbare experimentelle Bestätigung die Physiker der ganzen Welt aufs tiefste bewegte. Es gelang Davisson und Germer 1927 dadurch, daß sie Elektronen auf einen Nickelinkristall auffallen ließen, bei der Zurückwerfung der Elektronen die gleichen Beugungserscheinungen nachzuweisen, wie bei Wellen. — G. P. Thomson wiederholte die Versuche, wobei er aber die Elektronen durch dünne Metallblättchen hindurchtreten ließ. Der deutsche Physiker Rupp konnte im Vorjahre durch seine Versuche diese Ergebnisse bestätigen und dabei zahlenmäßig bedeutsame Messungen durchführen.

Durch diese Versuche ist die Wellennatur des bewegten Elektrons experimentell nachgewiesen und mehr als das: die aus den Beugungsringen sich ergebende Geschwindigkeit des Wellenvorganges, der dem mechanischen Bewegungsvorgang unterlegt ist, ergab sich innerhalb der Fehlergrenzen der Messung genau gleich der nach de Broglies Theorie errechneten Überlichtgeschwindigkeit.

Damit ist der Kreis geschlossen: Mechanik und Optik von beiden Seiten aus zu einem Ganzen verschmolzen; die einheitliche Erfassung alles physikalischen Geschehens gerade durch die Erkenntnis von seiner zweigestaltigen Natur zum ersten Male in der Geschichte der Wissenschaft erreicht. Erreicht ist ein Standpunkt, von dem sich plötzlich eine unendliche Weite des Blickes öffnet; aber das Erreichte ist vorläufig nur ein Programm; eine unübersehbare Forscherarbeit zu seiner Durchführung liegt vor uns.

* * *

Zweiter Teil

Grundzüge der Chemie

Von Professor Dr. Hugo Kauffmann

Gliederung des zweiten Teiles

Seite

I. Die Grundstoffe 117
A. Chemische Vorgänge 117
B. Die Moleküle 123
a) Der Wasserstoff 123
b) Der Sauerstoff 126
c) Das Wasser 128
d) Das Molekulargewicht 131
II. Anorganische Verbindungen 134
A. Die Verbrennungen 134
B. Oxyde des Kohlenstoffs 137
C. Oxydation 142
D. Reduktion 146
E. Chloride 150
F. Die Salze 154
a) Die Säuren 154
b) Die Basen 158
c) Bildung der Salze 162
d) Eigenschaften der Salze 166
e) Die Elektrolyte 171
f) Die Jonen 176
III. Die organischen Verbindungen 180
A. Die Isomerie 180
B. Die Kohlenwasserstoffe 185
C. Die organischen Sauerstoffverbindungen 188
D. Die organischen Stickstoffverbindungen 195
E. Die aromatischen Verbindungen 199
IV. Der Aufbau der Materie 204
A. Die Erscheinungsformen 204
B. Die chemische Verwandtschaft 210
C. Das periodische System 215
D. Die radioaktiven Elemente 219
E. Die Natur der Atome 222

I. Die Grundstoffe.

A. Chemische Vorgänge.

Der Mensch nimmt die Dinge der Welt an ihren Eigenschaften wahr, an Eigenschaften, wie groß und klein, rund und eckig, farblos und farbig, bitter und süß. Die Eigenschaften sind von grundsätzlich verschiedener Art. Entweder tragen sie den Charakter des Zufälligen und lassen sich wie Größe und Gestalt willkürlich abändern, oder sie haften als unabtrennbare Eigentümlichkeit an und gehören wie Farbe, Geruch und Geschmack von Natur aus dazu. Die Eigenschaften der ersten Art kennzeichnen lediglich die räumliche Existenz der Dinge, den Körper, die der zweiten Art dagegen das Material, aus dem sie bestehen, den Stoff, die Materie. Messer und Meißel, Feile und Bohrer sind Körper verschiedenster Gestalt; der Stoff, aus dem sie und noch viele andere Werkzeuge gemacht sind, ist jedoch immer derselbe, ist Stahl, ein graues, hartes und schweres Metall.

Die Chemie ist die Lehre von der Zusammensetzung und der Umwandlung der Materie. Stoffe verschwinden und Stoffe entstehen, und eine jede solche Veränderung ist ein chemischer Vorgang. Ob Eisen beim Rosten zu braunem Pulver zerfällt, ob Schwefel beim Verbrennen als unsichtbares stechend riechendes Gas davonweht, ob Erze beim Verhütten Metalle liefern, ob Zucker in Getränken zu Weingeist vergärt, ob Nahrung im Magen verdaut wird, ob tierische Substanz verwest, in jedem Fall wandeln sich Stoffe in andere um; jedesmal vollzieht sich ein chemischer Vorgang.

Die Feststellung, daß ein sich abspielender Vorgang ein chemischer ist, knüpft sich an die Beobachtung der Eigenschaften der beteiligten Stoffe. Die entstehenden Stoffe haben andere Eigenschaften als die ursprünglichen, und gerade in dem völlig durchgreifenden Wechsel der Eigenschaften liegt das Wesentliche der chemischen Vorgänge. Der Wechsel ist nicht eine mehr oder weniger zufällige Begleiterscheinung sondern umgekehrt das Kennzeichen. Wo ein Wechsel nicht stattfindet, ist keine stoffliche Änderung eingetreten und der Vorgang nur physikalischer und nicht chemischer Natur. Ein Draht aus Platin, einem grauen Edelmetall, in die kaum sichtbare Flamme eines Bunsenbrenners gehalten, wird leuchtend rot; aus der Flamme entfernt, nimmt er wieder seine frühere Farbe an und zeigt sich nun in jeder Hinsicht genau wieder so beschaffen wie vorher. Die Flammenhitze hat also keinerlei stoffliche Veränderung hervorgerufen; sie hat den Draht nur physikalisch

beeinflußt und ihn für die Dauer ihrer Einwirkung in den Zustand der Rotglut versetzt. Ganz anders verhält sich ein Draht aus Magnesium, einem unedlen Metall, das ebenfalls grau ist. In strahlend hellem, weißem Lichte verbrennt der an die Flamme herangebrachte Draht und brennt auch bei Entfernung von der Flamme nachher ebenso blendend weiter. Die Erscheinung findet ihr natürliches Ende und erlischt erst dann, wenn der Draht völlig verschwunden und ganz in eine lockere weiße Asche übergegangen ist. Die Flammenhitze hat sich dieses Mal anders ausgewirkt und einen chemischen Vorgang, die Umwandlung des Magnesiums in Magnesia, ausgelöst.

Die Menge eines Stoffes wird durch das Gewicht gemessen; die im Verlaufe eines chemischen Vorganges eintretende Ab- oder Zunahme der einzelnen Stoffmengen müssen sich also in Gewichtsveränderungen äußern, und so vermehrt sich bei dem eben beschriebenen Versuch das Gewicht der Magnesia in dem Maße als das des Magnesiums sich verringert. Wird auf Vermeidung jeglicher Verluste und auf Einbeziehung aller beteiligten Stoffe geachtet, so gleichen sich Zu- und Abnahmen gegenseitig aus. Im Falle des verbrennenden Magnesiums ist noch die Luft beteiligt, und unter Berücksichtigung dieses Umstandes ergibt sich, daß das Gewicht der entstehenden Magnesia ebensoviel ausmacht wie die zusammengezählten Gewichte von verbrauchter Luft und verbrauchtem Magnesium. *Bei jedem chemischen Vorgange tritt weder eine Zu- noch eine Abnahme des Gesamtgewichts ein.* Der Gesamtbetrag der Materie ändert sich nicht, und das Gewicht der verschwindenden Stoffe erscheint wieder in dem der entstehenden. Dieses *Gesetz von der Erhaltung der Materie* hat eine eingehende experimentelle Prüfung erfahren, und es ist das Verdienst von *Landolt*, nachgewiesen zu haben, daß innerhalb den Grenzen der Beobachtungsmöglichkeit das Gesetz in voller Strenge gilt. Das Gesetz, das früher als selbstverständlich vorausgesetzt wurde, ist eine der wichtigsten Unterlagen für die chemischen Theorien.

Materie kann weder geschaffen noch vernichtet werden, dies ist der tiefere Sinn des Gesetzes. Ihre Menge ist von Anbeginn festgelegt, und nur ihre Erscheinungsform wechselt. Die unendliche Mannigfaltigkeit der Erscheinungsformen erfährt eine Sichtung durch die Vorstellung von einfachen und zusammengesetzten Stoffen. Auf dem Wege einer chemischen Vereinigung entstehen aus den einfachen die zusammengesetzten, und umgekehrt spalten sich auf dem Wege einer chemischen Zerlegung die letzteren wieder in die ersteren. Die einfachen Stoffe werden Grundstoffe oder *Elemente*, die zusammengesetzten *chemische Verbindungen* genannt. Ein Element ist also ein Stoff, der nicht mehr weiter zerlegbar ist. Viele der wohlbekannten Metalle sind Elemente, so das Zink und das Eisen, das Blei und das Kupfer, das Gold und das Silber. Auch viele andere nicht metallische Stoffe sind Elemente, so die Kohle, der Schwefel und der Phosphor. Manche davon sind gasförmig wie beispielsweise die beiden Hauptbestandteile der Luft, der Sauerstoff und der Stickstoff.

Die Vereinigung von Elementen zu chemischen *Verbindungen* ist ein Vorgang, der sich von der bloßen Vermischung völlig unterscheidet. Die Mischung bedeutet noch keineswegs eine stoffliche Änderung, und selbst wenn sie noch so innig ist, sind in ihr die einzelnen Bestandteile immer noch an ihren Eigenschaften erkennbar.

Feste Stoffe kann man vermischen, indem man sie zuvor zu feinstem Pulver zerreibt und nachher gründlich zusammenrührt. Aus dem gelben Schwefel und dem grauschwarzen Eisen entsteht so ein hellgraues, staubfeines Gemenge, dem man seine einzelnen Bestandteile auf den ersten Blick kaum mehr ansieht. Daß sie immer noch vorhanden sind, läßt sich aber auf mehreren Wegen leicht nachweisen; schon wenn man ein Vergrößerungsglas oder ein Mikroskop anwendet, sieht man die gelben und die schwarzen Körnchen nebeneinander liegen. Ein schöner Nachweis kann mit Hilfe eines Magneten erbracht werden, an dem beim Streichen durch das Gemenge nur die Eisenteilchen hängen bleiben, die sich auf diese Weise rasch wieder von den Schwefelteilchen abtrennen lassen. Durch solche Nachweise wird klar, daß das Gemenge eben doch nur Schwefel und Eisen und sonst durchaus nichts anderes ist.

Der grundsätzliche Unterschied, der zwischen Mischen und Verbinden besteht, läßt sich am gleichen Beispiel weiter verfolgen, nur daß wir dazu eine Mischung, in der sich die Menge von Schwefel und Eisen wie 4:7 verhalten, verwenden. Wird eine solche Mischung erhitzt, so beginnt sie plötzlich zu erglühen, und die ausbrechende Glut pflanzt sich durch die ganze Masse fort, sogar wenn diese nur an einer kleinen Stelle angeheizt worden war. Das Aufglühen verkündet den Eintritt eines besonderen Geschehens und ist das äußere Zeichen vom Stattfinden einer chemischen Vereinigung. Der Fortbestand der Gemengteile hört auf, die ganze Masse backt zu einem einzigen festen Stück zusammen, und ein neuer, nach dem Erkalten schwarz aussehender Körper entsteht. Weder mit dem Mikroskop noch mit dem Magneten lassen sich in dem Produkt, auch wenn man es noch so fein zermahlt, die Ausgangsmaterialien Eisen und Schwefel erkennen und nachweisen. Der neue Stoff wird als Schwefeleisen bezeichnet, womit man ausdrücken will, aus welchen Elementen er chemisch herstellbar und zusammensetzbar ist. Das Gemenge von Schwefel und Eisen ist also noch kein Schwefeleisen; nur das neue Produkt, in welchem die zusammengemengten Bestandteile verschwunden sind, ist ein solches. Was hier für ein bestimmtes Beispiel dargelegt ist, gilt für chemische Vorgänge ganz allgemein. Zur Ausführung solcher ist Zusammenmischen der Bestandteile selbstverständlich stets erforderlich: das Zusammenmischen ist aber nicht gleichbedeutend mit chemischem Geschehen. Dieses setzt erst nachher ein, sei es von ganz allein, sei es durch Nachhilfe, etwa durch Erhitzen wie gerade im Falle des Schwefeleisens.

Der Begriff des Elementes, der von größter Fruchtbarkeit und Gestaltungskraft für die chemischen Vorstellungen geworden ist, hat dem grübelnden Menschengeist von jeher vorgeschwebt, und schon die griechischen Philosophen haben ihn grundsätzlich in ihren Gedankenkreis einbezogen. Empedokles betrachtete Luft, Wasser, Erde und Feuer als Grundlagen der Welt, und Aristoteles entwickelte aus ihnen eine Elementenlehre, die bis ins Mittelalter hinein die Anschauungen beherrschte. Erfolgreiche Bedeutung für die Chemie gewann der Begriff aber erst, als Boyle 1661 auch den experimentellen Nachweis, daß ein als Element angesprochener Stoff tatsächlich nicht weiter zerlegbar sei, betonte und forderte. Damit rückte der Begriff des Elementes aus dem Gebiet der Spekulation in das des Versuches und die Chemie in die Wissenschaften ein. Die vier Elemente der Alten schieden aus, und an ihre Stelle traten andere, deren Anzahl viel größer ist und sich durch Entdeckungen bis heutigentages dauernd vermehrt. Alle Unsicherheiten behebt

natürlich auch die Forderung des experimentellen Nachweises nicht, denn nunmehr erscheint die Elementenfrage als abhängig von der Ausbildung der Versuchstechnik, und was heute noch als Element gilt, kann infolge neuer Fortschritte morgen dieses Rechtes verlustig gehen.

Atome. Obgleich die Elemente, wenn sie chemische Verbindungen miteinander eingehen, sich unserer sinnlichen Wahrnehmbarkeit entziehen und gleichsam sich auslöschen, müssen sie doch in verborgener Weise irgendwie noch vorhanden sein. Anders wäre es nicht zu begreifen, daß sie sich aus den Verbindungen nicht nur wieder abscheiden sondern auch in der ursprünglichen Menge wieder zurückgewinnen lassen. Die Scheidung ist freilich bedeutend schwieriger als die Verbindung und nicht selten nur unter Zuhilfenahme anderer Stoffe möglich; häufig gelingt sie aber leicht und glatt, wenn der elektrische Strom zur Einwirkung gebracht wird. Wie dem auch sein mag, die Tatsache der quantitativen Abscheidbarkeit fordert unumgänglich Anschauungen heraus, die die unbemerkbare Fortdauer der Elemente in den Verbindungen dem menschlichen Verständnis erschließen. Den Weg hierzu zeigt die Atomlehre, die von Dalton 1806 in die Chemie eingeführt wurde und sich bleibend als ausgezeichneter Untergrund bewährte.

Jeder Körper ist aufgebaut aus sehr kleinen, nicht mehr weiter teilbaren Teilchen, den Atomen. Der Name stammt aus dem Griechischen und ist von dem Philosophen Demokritos (geboren 460 v. Chr.) aus dem Wort átomos = unteilbar gebildet. Nach der Atomlehre, wie die Chemie sie entwickelt hat, gibt es ebensoviele Atomarten als Elemente. Das einzelne Element besteht nur aus Atomen der gleichen Art; die Verbindungen dagegen bestehen aus Atomen mehrerer Arten. Das Eisen besteht nur aus Eisenatomen, der Schwefel nur aus Schwefelatomen, das Schwefeleisen dagegen zugleich aus Schwefel- und Eisenatomen. Die Eigenschaften der Stoffe richten sich außer nach der Natur auch nach der Zusammenlagerung der vorhandenen Atome, und daher kommt es, daß ein Schwefelatom dem Element Schwefel andere Eigenschaften erteilt wie der Verbindung Schwefeleisen.

Im Gegensatz zur Atomlehre des Altertums fußt die Gegenwart ganz auf dem Boden des Experiments. Die Atome sind nicht mehr bloße Denkmöglichkeiten; sie sind tatsächliche Gebilde, über deren Größe man unterrichtet ist, und die man unter gewissen Bedingungen sogar einzeln bemerkbar machen kann. Dalton hatte sich ihrer bedient, um zwei sonst rätselhafte Gesetze zu erklären und damit seiner Zeit weit vorgegriffen, denn es sollte noch ein ganzes Jahrhundert dauern, bis die Lehre auch über die Chemie hinaus volle Anerkennung erlangte.

Das eine derselben ist das Gesetz von den konstanten Proportionen und besagt, daß die Elemente nur in ganz bestimmten Gewichtsverhältnissen sich miteinander verbinden. Diese Erkenntnis, die den Unterschied zwischen Verbindung und Vermischung, weil letztere in jedem beliebigem Verhältnis möglich ist, noch weiter klaffen macht, findet sofort eine durchsichtige und einfache Deutung, wenn man die Atomlehre zu Rate zieht. Was sich in Wirklichkeit verbindet, sind die Atome. Im einfachsten Falle verbindet sich je ein Atom des einen Elementes mit je einem Atom des anderen Elementes, so daß sich die zusammentretenden Mengen verhalten wie die Gewichte dieser Atome. In weniger einfachen Fällen verbinden sich die Atome nicht gerade paarweise; an dem Zusammentreten

können sie in ungleicher Zahl und können auch mehr als zwei Atomarten teilnehmen; auf jeden Fall ergibt sich aber aus Zahl und Gewicht der sich vereinenden Atome ein bestimmtes unabänderliches Gewichtsverhältnis, also das Gesetz der konstanten Proportionen.

Das andere ist das Gesetz der multiplen Proportionen, das dann in Betracht kommt, wenn Elemente zu mehr als nur einer Verbindung sich vereinigen. Jede einzelne der Verbindungen gehorcht wieder dem Gesetz der konstanten Proportionen; vergleicht man sie aber miteinander, so stößt man auf dieses zweite Gesetz, das lautet: Die Gewichtsmengen eines Elementes, die sich mit ein und derselben Menge eines anderen verbinden, stehen in einfachen durch ganze Zahlen ausdrückbaren Verhältnissen zueinander. Eindrucksvoller noch als das erstere bringt dieses zweite Gesetz die Notwendigkeit der Atomlehre zum Ausdruck. Es besagt, daß vom einen Element ein oder zwei oder mehr, aber naturgemäß stets nur eine ganze Anzahl von Atomen auf eine gegebene Anzahl Atome des anderen kommen. So kennt man fünf verschiedenerlei Verbindungen des Sauerstoffs mit dem Stickstoff, bei welchen die einzelnen Gewichtsverhältnisse sind: 4 zu 7, 8 zu 7, 12 zu 7, 16 zu 7 und 20 zu 7, und die Sauerstoffmengen bei gleichen Stickstoffmengen sich demnach wie 1:2:3:4:5 verhalten. Auf eine gegebene Anzahl von Stickstoffatomen kommen also der Reihe nach 1 oder 2 oder 3 oder 4 oder 5 Sauerstoffatome.

Zwecks größerer Anschaulichkeit und leichterer Handhabung wurde für die Atomlehre eine besondere Zeichensprache geschaffen. Man macht sich dabei von bestimmten Vorstellungen über das Aussehen der Atome vollständig frei und bedient sich lediglich bestimmter kurzer Symbole. Während man in früheren Zeiten für die Elemente willkürlich gewählte, mehr oder weniger phantastische Zeichen benützte, die das Gedächtnis stark belasteten, führte Berzelius dem Namen entnommene Symbole ein und verwendete hierzu den Anfangsbuchstaben der lateinischen oder griechischen Benennung. Beginnen mehrere Elemente mit dem gleichen Buchstaben, so wird dem Namen noch ein zweiter entnommen. Der Schwefel, Sulphur, und das Eisen, Ferrum, erhalten so die Symbole S und Fe. Die Symbole der Elemente beziehen sich in Wirklichkeit auf die Atome, so daß also die Buchstaben S und Fe je ein Atom Schwefel und Eisen bedeuten. Zusammengesetzte Stoffe werden durch unmittelbares Zusammenschreiben der Symbole ausgedrückt, und die Verbindung Schwefeleisen erhält damit die chemische Formel FeS.

Die chemischen Vorgänge werden durch Gleichungen veranschaulicht, auf deren linke Seite man die verschwindenden und auf deren rechte Seite man die entstehenden Stoffe durch Pluszeichen voneinander getrennt anschreibt. Die Bildung von Schwefeleisen findet so folgenden Ausdruck:

$$Fe + S = FeS.$$

Da nach dem Satz von der Erhaltung der Materie keine Atome verlorengehen oder neu geschaffen werden können, muß in derartigen Gleichungen für jede Atomart die Summe der Symbole auf beiden Seiten den gleichen Wert haben. In der Gleichung für das Schwefeleisen trifft dies ohne weiteres zu, denn jedes der Symbole Fe und S kommt links und rechts je nur einmal vor.

Atomgewichte. Jedem Symbol eines Elements wird ein bestimmter Zahlenwert zugeordnet, der aus den beobachteten konstanten Proportionen erschlossen und von grundlegender Bedeutung ist. Dieser Zahlenwert ist das Atomgewicht, unter welchem man jedoch nicht das tatsächliche Gewicht eines einzelnen Atoms, sondern nur einen relativen Wert versteht. Zu diesem Ausweg hat man gegriffen, weil bei chemischen Überlegungen ja doch nur mit Verhältnissen von Gewichten und nicht mit Gewichten selbst gerechnet wird, und weil die Werte für die tatsächlichen Gewichte der Atome so ungeheuer klein sind, daß ihre Benutzung beim Rechnen nur Erschwerungen, aber keinerlei Vorteile brächte. Ein anderer Weg konnte übrigens anfänglich überhaupt gar nicht eingeschlagen werden, da erst in neuerer Zeit die tatsächlichen Gewichte der Ermittlung zugänglich geworden sind.

Die leichtesten Atome hat das Element Wasserstoff, und so liegt der Gedanke nahe, sie als Maßeinheit zu nehmen, und als Atomgewicht der übrigen Elemente diejenige Zahl zu verwenden, die angibt, wievielmal schwerer deren Atome als die Wasserstoffatome sind. Der Wasserstoff würde auf diesem Wege das Atomgewicht 1 zuerteilt bekommen, und wenn dann ein anderes Element, etwa der Sauerstoff, das Atomgewicht 15,98 hätte, so heißt dies, ein Sauerstoffatom ist 15,98 mal schwerer als ein Wasserstoffatom. Diese Maßeinheit war lange Zeit hindurch im Gebrauch, ist aber allmählich wieder aufgegeben worden, weil die Methoden, nach welchen man die Atomgewichte bestimmt, im allgemeinen nicht von Verbindungen der Elemente mit Wasserstoff ausgehen, also nicht unmittelbar das Gewichtsverhältnis zwischen den Atomen des betreffenden Elementes und denen des Wasserstoffs liefern. Häufig dienen zur Atomgewichtsbestimmung Sauerstoffverbindungen, aus denen sich dann das Atomgewichtsverhältnis gegenüber Sauerstoff ergibt, das nachträglich noch auf das gegenüber Wasserstoff umzurechnen wäre. Zu dieser Umrechnung ist genaue Kenntnis des Atomgewichtsverhältnisses zwischen Sauerstoff und Wasserstoff erforderlich, und jede Ungenauigkeit dieses Umrechnungsfaktors schleicht sich in das Schlußresultat ein. Um sich von diesem eine gewisse Unsicherheit bedingenden Faktor loszumachen, bezieht man nunmehr die Atomgewichte alle auf den Sauerstoff und legt, damit gegenüber früher keine erheblichen Unterschiede auftreten, dessen Atomgewicht auf genau 16 fest. Das Atomgewicht des Wasserstoffs erhält damit einen Wert, der etwas größer als eins, nämlich 1,008 ist.

Die Atomgewichtsbestimmungen gehören zu den schwierigsten Arbeiten auf dem ganzen Gebiet der Chemie, denn die verwendeten Stoffe müssen den höchsten Reinheitsgrad aufweisen und auch von den letzten Spuren fremder Stoffe, die sich sogar in sonst als rein angesehenen Materialien vorfinden, sorgfältigst befreit werden. Der chemische Vorgang, aus welchem das Gewichtsverhältnis erschlossen wird, muß so geleitet werden, daß auch nicht der allergeringste Verlust eintritt und daß die Materialien, aus denen die Gefäße bestehen, in keiner Weise in den Vorgang chemisch eingreifen. Ununterbrochen arbeitet eine Reihe von Forschern daran, nach den neuesten Erfahrungen und mit den verfeinerten Mitteln der heutigen Experimentierkunst die Gewichtsverhältnisse mit einem immer höheren Grad von Genauigkeit festzustellen. Atomgewichtskommissionen geben alljährlich Tabellen mit den zur Zeit für die besten gehaltenen Atomgewichtszahlen heraus und nehmen darin auch inzwischen neuentdeckte Elemente auf. Die deutsche Atomgewichts-

kommission — bis zum Weltkrieg war auch Deutschland in der internationalen Atomgewichtskommission vertreten — gibt für das Jahr 1931 folgende Tabelle heraus:

Praktische Atomgewichte.

Ag	Silber	107,880	Mo	Molybdän	96,0
Al	Aluminium	26,97	N	Stickstoff	14,008
Ar	Argon	39,94	Na	Natrium	22,997
As	Arsen	74,93	Nb	Niobium	93,5
Au	Gold	197,2	Nd	Neodym	144,27
B	Bor	10,82	Ne	Neon	20,18
Ba	Barium	137,36	Ni	Nickel	58,69
Be	Beryllium	9,02	**O**	**Sauerstoff**	**16,00**
Bi	Wismut	209,00	Os	Osmium	190,9
Br	Brom	79,916	P	Phosphor	31,02
C	Kohlenstoff	12,000	Pb	Blei	207,21
Ca	Calcium	40,07	Pd	Palladium	106,7
Cd	Cadmium	112,41	Pr	Praseodym	140,92
Ce	Cerium	140,13	Pt	Platin	195,23
Cl	Chlor	35,457	Ra	Radium	225,97
Co	Kobalt	58,94	Rb	Rubidium	85,45
Cp	Cassiopeium	175,0	Re	Rhenium	186,31
Cr	Chrom	52,01	Rh	Rhodium	102,9
Cs	Caesium	132,81	Ru	Ruthenium	101,7
Cu	Kupfer	63,57	S	Schwefel	32,06
Dy	Dysprosium	162,46	Sb	Antimon	121,76
Em	Emanation	222	Sc	Scandium	45,10
Er	Erbium	167,64	Se	Selen	79,2
Eu	Europium	152,0	Si	Silicium	28,06
F	Fluor	19,00	Sm	Samarium	150,43
Fe	Eisen	55,84	Sn	Zinn	118,70
Ga	Gallium	69,72	Sr	Strontium	87,63
Gd	Gadolinium	157,3	Ta	Tantal	181,36
Ge	Germanium	72,60	Tb	Terbium	159,2
H	Wasserstoff	1,0078	Te	Tellur	127,5
He	Helium	4,002	Th	Thorium	232,12
Hf	Hafnium	178,6	Ti	Titan	47,90
Hg	Quecksilber	200,61	Tl	Thallium	204,39
Ho	Holmium	163,5	Tu	Thulium	169,4
In	Indium	114,8	U	Uran	238,14
Ir	Iridium	193,1	V	Vanadium	50,95
J	Jod	126,93	W	Wolfram	184,0
K	Kalium	39,104	X	Xenon	130,2
Kr	Krypton	82,9	Y	Yttrium	88,93
La	Lanthan	138,90	Yb	Ytterbium	173,5
Li	Lithium	6,940	Zn	Zink	65,38
Mg	Magnesium	24,32	Zr	Zirkonium	91,22
Mn	Mangan	54,93			

B. Die Moleküle.

a) Der Wasserstoff.

Die Entwicklung der wichtigsten chemischen Grundbegriffe ging Hand in Hand mit der Erkenntnis der wahren Natur von Luft und Wasser. Im Bann der Aristotelischen Auffassung, welche noch durch das ganze Mittelalter hindurch herrschte, hielt man beides für Elemente, und erst als man einsah, daß es verschiedenerlei luftförmige Stoffe gibt, und man mit diesen umgehen lernte, war der Boden für den Fortschritt geebnet. Als Begründer der von den luftförmigen Stoffen handelnden

Chemie, der sogenannten pneumatischen Chemie, ist der Brüsseler van Helmont, der auch das Wort Gas geschaffen hat, anzusehen. Auf der von ihm begonnenen Unterlage entstand im Laufe der folgenden Zeiten die Experimentiertechnik für Gase, die in dem Maße, als sie sich vervollkommnete, die großen umwälzenden Entdeckungen des letzten Drittels des 18. Jahrhunderts vorbereitete. Cavendish (1731—1810) gewann im Jahre 1766 seine brennbare Luft, erkannte sie als besonderen Stoff und wurde so zum Entdecker eines neuen Elements, das dann im Hinblick auf seine Beziehungen zum Wasser bald darauf den Namen Wasserstoff erhielt. Das Jahr 1774 brachte die Auffindung des Sauerstoffgases durch Priestley (1733—1804) als dephlogistisierte Luft und durch Scheele (1742—1786) als Feuerluft. Cavendish bewies, daß das Wasser kein Element ist und sich aus Sauerstoff und Wasserstoff zusammensetzt. Lavoisier (1743 bis 1794) erfaßte die große Bedeutung dieser Beobachtungen in der vollen Tragweite und legte damit den Grundstein zum wissenschaftlichen Lehrgebäude der Chemie.

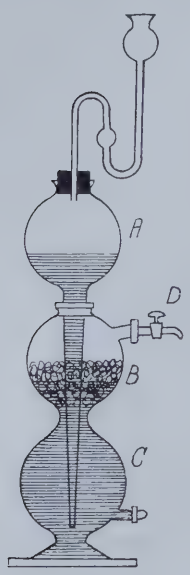


Abb. 102. Kippscher Apparat.

Der Wasserstoff, der entsprechend seinem aus dem Griechischen abgeleiteten Namen Hydrogenium = Wassererzeuger das Symbol H erhalten hat, ist ein farbloses, geruch- und geschmackloses Gas und entzieht sich daher ebenso wie die Luft der unmittelbaren Wahrnehmung. Durch eine Reihe wichtiger Eigenschaften läßt er sich aber leicht erkennen. Um ihn herzustellen, kann man viele Wege einschlagen, und einer der einfachsten besteht darin, daß man eine Säure auf das Metall Zink einwirken läßt. Übergießt man Zinkstücke mit Salzsäure, so gerät diese ins Sprudeln und zerfrißt das Metall, das allmählich ganz verschwindet, wenn genügend Säure angewendet wird. Das Sprudeln, das sich bei Vornahme des Versuches in einem gläsernen Becher leicht beobachten läßt, beruht auf der Bildung zahlloser kleiner Blasen an der Oberfläche der Metallstücke. Die Blasen vergrößern sich, lösen sich vom Metall los, eilen durch die Flüssigkeit nach oben, häufen sich auf derselben als Schaum an, platzen schließlich und breiten ihren gasförmigen Inhalt in die umgebende Luft aus. Dieser Inhalt ist der entstandene Wasserstoff, der sich schnell in die Luft verliert und daher ohne Zuhilfenahme geeigneter Apparate nicht gefaßt werden kann.

Der Grundgedanke derartiger Apparate, die auch zur Herstellung anderer Gase dienen, ist folgender: Eine Glasflasche ist durch einen Stopfen verschlossen, der zwei Durchbohrungen hat. Durch die eine geht ein langes, oben trichterförmiges Rohr bis fast auf den Boden der Flasche; durch die andere geht ein kurzes, oberhalb des Stopfens rechtwinklig umgebogenes Rohr. Man legt das Zink in die Flasche, schüttet nach dem Verschließen die Säure durch das Trichterrohr ein und erhält nun einen Strom von Wasserstoff, der durch das andere Rohr entweicht oder durch einen über dieses gestülpten Schlauch an einen beliebigen Ort geleitet werden kann. Solche einfache Gasentwicklungsflaschen haben den Nachteil, daß der Gasstrom sich nicht beliebig regeln und abstellen läßt. Dieser Übelstand ist

beim Kippschen Apparat (Abb. 102) vermieden. Der Apparat baut sich aus drei übereinander befindlichen großen starkwandigen Glaskugeln A, B und C auf, von welchen die obere nach unten in ein Glasrohr endigt, das in den Hals der mittleren Kugel luftdicht eingeschliffen ist und noch in die unterste, aber deren Hals nicht verschließend, hineinragt. Das Zink kommt in Form so grober Stücke in die mittlere Kugel, daß es nicht nach unten fällt. Die Säure wird durch die obere Kugel eingefüllt, fließt nach unten und steigt bei genügender Menge bis herauf zum Zink, aus dem sofort Wasserstoff entsteht, der durch den an der mittleren Kugel angebrachten Hahn D entweicht. Der Apparat läßt sich jederzeit außer Gang setzen; sobald man nämlich den Hahn schließt, drückt der nun eingesperrte Wasserstoff die Säure vom Zink weg in die untere Kugel, wodurch die Gasentwicklung natürlich unterbunden wird. Beim Öffnen des Hahns kommt der Apparat von allein wieder in Gang, da mit dem Ausströmen des Wasserstoffs dessen Druck sinkt und die Säure wieder zum Zink hochsteigt.

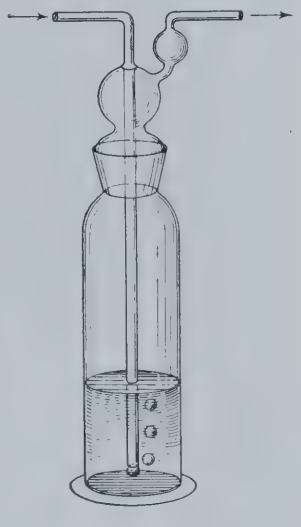


Abb. 103.
Waschflasche für Gase.

Das dem einen oder anderen Apparat entnommene Gas ist nicht rein und enthält, da es aus der Salzsäure, also aus einer wäßrigen Flüssigkeit, herauskommt, noch Wasserdampf. Um es von diesem zu befreien, sendet man es durch eine Waschvorrichtung, etwa durch eine Waschflasche von der Gestalt der Abb. 103. Die Flasche ist aus Glas gemacht, hat ein langes, in die Waschflüssigkeit tauchendes Zuleitungsrohr und ein kurzes Ableitungsrohr. Das hindurchgeleitete Gas wird gezwungen, in kleinen Blasen durch die Flüssigkeit zu perlen, und gibt hierbei seine Verunreinigungen an diese ab. Für den Fall, daß es sich um die Beseitigung von Wasserdampf handelt, benützt man als Waschflüssigkeit konzentrierte Schwefelsäure, die begierig Wasser anzieht. Für den Fall, daß noch andere Verunreinigungen, wie sie beim Verwenden nicht chemisch reinen Zinks hereinkommen, zu beseitigen sind, leitet man das Gas vor dem Trocknen durch eine andere, ebenso konstruierte Waschflasche, die als Flüssigkeit eine Permanganatlösung enthält. Die Verwendung von Waschflaschen hat außer dem eben genannten Zweck noch den Vorteil, daß durch das Hindurchperlen der Gasblasen das sonst unsichtbare Gas dem Auge bemerkbar gemacht wird.

Daß Wasserstoff und Luft trotz der äußeren Ähnlichkeit nicht das gleiche Gas sind, ist leicht festzustellen. Der erste und wichtigste Unterschied ist der: Wasserstoff ist brennbar. Der aus Brennern ausströmende Wasserstoff kann ebenso, wie man es beim Leuchtgas täglich macht, angezündet werden und verbrennt dann mit blasser, kaum sichtbarer Flamme, die außerordentlich heiß ist. Ein solches mit dem Leuchtgas gleichartiges Verhalten darf nicht überraschen, denn dieses enthält rund 50 Volumprozent Wasserstoff. Daß es im Gegensatz zum Wasserstoff mit gut sichtbarer und leuchtender Flamme brennt, beruht auf dem Vorhandensein noch anderer gasförmiger Stoffe. Die Brennbarkeit des Wasserstoffs ist an die Gegenwart von

Luft gebunden. Wird eine Wasserstofflamme, die man durch eine eingeführte Röhre speist, beispielsweise innerhalb eines Gefäßes erzeugt und dieses dann so dicht abgeschlossen, daß keine neue Luft eintreten kann, so erlischt sie binnen kurzem. Die im Gefäß befindliche Luft ist dann verbraucht und so verändert, daß sie nicht mehr imstande ist, die Verbrennung zu unterhalten. Sperrt man umgekehrt die äußere Luft nicht ab und bläst sogar noch neue hinzu, so geht die Flamme nicht aus und brennt weiter, solange man für Zutritt frischer Luft sorgt. Wasserstoff und Luft erweisen sich auf diese Weise als sich ergänzende Stoffe, und nur beide zusammen ermöglichen die Verbrennung.

Ist die Luft dem Wasserstoff schon vor dem Verbrennen beigemischt, so liegt eine Gasmischung vor, der man ihre Zusammensetzung nicht ansieht, die aber außerordentlich gefährlich ist. Während reiner Wasserstoff beim Anzünden ruhig und langsam abbrennt, explodiert lufthaltiger äußerst heftig, je nachdem unter Zerschmetterung der Gefäße. Diese Luft-Wasserstoffmischung ist daher ein Knallgas. Beim Arbeiten mit Wasserstoff hat man auf die Möglichkeit der Bildung einer solchen gefährlichen Gasmischung stets zu achten; wer beispielsweise bei der Herstellung nicht so lange zuwartet, bis alle Luft aus den Apparaten durch den Wasserstoff ausgetrieben und verdrängt ist, hat es zunächst noch mit Knallgas zu tun und setzt sich beim Anzünden einer gewaltigen Explosion aus.

Ist der erste charakteristische Unterschied zwischen Wasserstoff und Luft ein chemischer, so ist der zweite ein physikalischer. Der Wasserstoff ist das leichteste aller Gase. Er hat ein sehr viel geringeres Gewicht als der gleichgroße Raumteil Luft, der bei gleichem Druck und gleicher Temperatur 14,4mal schwerer ist. Das Gewicht von 1 Liter Wasserstoff beträgt bei der Vergleichstemperatur von 0° und dem Vergleichsdruck von einer Atmosphäre 0,0899 Gramm. Ähnlich wie in Wasser spezifisch leichtere Gegenstände nach oben steigen, so bewegt sich der Wasserstoff, wenn er sich in Luft befindet, nach oben. Wird er in eine leichte, ihn vor dem Auseinanderwehen schützende Hülle verbracht, so nimmt er diese mit in die Höhe, und hierauf beruht seine Verwendung zur Füllung von Luftballonen.

b) Der Sauerstoff.

Wie beim Wasserstoff, so ist auch bei anderen brennbaren Stoffen der Verbrennungsvorgang an die Gegenwart von Luft geknüpft. Ob es sich um Holz oder Kohlen, Petroleum oder Wachs handelt, ein Feuer kann mit diesen Materialien nur dann entzündet und unterhalten werden, wenn Luft sie umgibt und ihnen zuströmt. Die wichtige Rolle, die die Luft beim Verbrennen spielt, und die meistens dem nicht naturwissenschaftlich denkenden Menschen entgeht, findet eine einfache Erklärung, wenn man ihre chemische Natur näher betrachtet. Die Luft ist eine Mischung mehrerer Gase und eines derselben Träger der Verbrennungsmöglichkeit. Dieser Bestandteil läßt sich frei von den übrigen für sich allein gewinnen, und weil er in diesem Zustand die Feuer nicht nur unterhält, sondern sie sogar noch heftiger anfacht, nannte ihn sein Entdecker Scheele Feuerluft. Sein heutiger Name, der ihm von Lavoisier auf Grund der Beziehung zu den Säuren gegeben wurde, ist Sauerstoff.

Der Sauerstoff, dessen chemisches Symbol O dem Wort Oxygenium = Säureerzeuger entnommen ist, bildet wie die Luft selbst ein farbloses, geruchloses und geschmackloses Gas, und seine Gegenwart in der Luft entzieht sich daher der unmittelbaren Beachtung. Man kann ihn aus der Luft abtrennen; für seine Gewinnung im Kleinen ist es aber zweckmäßiger, ihn auf chemischem Wege aus anderen Ausgangsmaterialien herzustellen. Man benutzt dazu Kaliumchlorat, ein weißes Salz, das in der Hitze schmilzt und dann unter Umwandlung in ein anderes Salz und unter Aufschäumen Sauerstoff abgibt. Die Gasentwicklung wird erleichtert und erfordert eine viel weniger starke Erhitzung, wenn man noch Braunstein, ein Mineral, in fein verteiltem Zustand beimischt. Dieser Fremdstoff nimmt am chemischem Vorgang in keiner erkennbaren Weise teil und findet sich nach vollendeter Abgabe des Sauerstoffs, der nur dem Kaliumchlorat entstammt, noch völlig unverändert vor. Solche merkwürdige Beeinflussungen chemischer Vorgänge durch scheinbar ganz unbeteiligte Fremdstoffe sind durchaus keine Seltenheit und angesichts der durch sie ermöglichten Vereinfachung der Verfahren Gegenstand besonderer Forschungen. Einen solchen Vorgang bezeichnet man als Katalyse und den Fremdstoff als Katalysator.

Um Sauerstoff zu bereiten, mischt man Kaliumchlorat mit etwa einem Viertel seines Gewichtes Braunstein und erhitzt das Gemenge in einer gläsernen Retorte. Das aus der Retorte entweichende Gas wird zur Aufbewahrung mittels eines Schlauches einem Gasometer zugeleitet und dann diesem nach Bedarf entnommen. Fertiger Sauerstoff kann auch käuflich bezogen werden und kommt ebenso wie andere Gase in dickwandigen, druckfesten zylinderförmigen Stahlflaschen in den Handel. Dieses technische Sauerstoffgas ist aus Luft gewonnen und noch verunreinigt durch die übrigen Luftbestandteile, deren Anwesenheit in vielen Fällen die Verwendung in keiner Weise stört.

Der auf dem einen oder anderen Wege bereitete Sauerstoff gibt sich durch seine das Feuer fördernde und anfachende Eigenschaft leicht zu erkennen. Ein sehr einfaches Hilfsmittel hierzu bietet ein dünner langer Holzspan, dessen eines Ende man anzündet und wieder so auslöscht, daß eben das Holz noch schwach weiter glimmt. Taucht man den glimmenden Span in eine mit Sauerstoffgas gefüllte Flasche oder läßt man aus einer Röhre das Gas gegen ihn strömen, so bricht er aufs neue in Flammen aus und verbrennt nun schnell und mit hellem Lichte viel blendender als in gewöhnlicher Luft. Noch die kleinste glimmende Stelle genügt, um die Wiederentflammung einzuleiten.

Die Verbrennungen in Luft und in Sauerstoff unterscheiden sich nicht nur durch die Erleichterung, sondern auch durch die Steigerung des Vorganges. Die in Sauerstoff erzeugten Flammen sind außerordentlich heißer, und dies tritt namentlich an der Wasserstoffflamme hervor, die sich beim Zustandekommen in Sauerstoff zu einer der gewaltigsten Hitzequellen entwickelt. Das Verbrennen von Wasserstoff in Sauerstoff ist freilich mit einer gewissen Vorsicht auszuführen, denn findet die Vermischung der beiden Gase vorzeitig und nicht erst an der Flamme statt, so besteht die Möglichkeit einer Explosion. Wie in Mischung mit Luft, so bildet der Wasserstoff auch in Mischung mit Sauerstoff ein explodierbares Gasgemenge, dessen zerschmetternde Kraft sogar noch viel verheerender ist. Dieses aus Sauerstoff und

Wasserstoff bestehende Gasgemenge ist das reine Knallgas und darum wirkungsvoller als das ihm ähnliche, aber mit Luft hergestellte, weil in diesem ja auch noch die übrigen nur hemmenden Luftbestandteile mit enthalten sind. Das reine Knallgas dient trotz seiner gefährlichen Natur zur Erzeugung hoher Temperaturen. Im Knallgebläse werden Sauerstoff und Wasserstoff zusammen durch einen derart konstruierten Brenner hindurchgepreßt, daß die beiden Gase erst an der Brenneröffnung aufeinandertreffen und sich vermischen. Abb. 104 zeigt eine solche Vorrichtung, den Daniellschen Hahn, durch dessen innere Röhre man den Sauerstoff, und durch dessen äußere, die innere umgebende Röhre man den Wasserstoff zuführt. Beim Anzünden entsteht eine lange spitze schmale Flamme, die ohne Explosion gleichmäßig weiterbrennt und den für die Verbrennung des Wasserstoffs erforderlichen Sauerstoff schon in sich selbst enthält, die also auf Zufuhr von Luft oder Sauerstoff von außen her nicht angewiesen ist. Die Flamme des Knallgebläses ist so heiß,

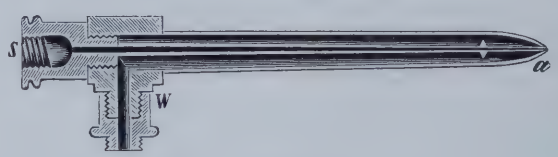


Abb. 104. Knallgasgebläse (Daniellscher Hahn).

daß darin schwer schmelzbare Metalle wie Platin leicht in Tropfen abschmelzen und unschmelzbare feste Körper wie Magnesia in blendender Weißglut erstrahlen.

Der Sauerstoff ist zu rund 20% in der Luft enthalten, und auf diesen Gehalt sind naturgemäß alle Erfahrungen des täglichen Lebens über Feuer und Brände eingestellt. Da, wo der Gehalt ein anderer ist, verschiebt sich das Bild; Erhöhung des Sauerstoffgehalts bedeutet Erleichterung, Erniedrigung desselben Erschwerung des Verbrennungsvorgangs. Volle Entfernung des Sauerstoffs aus der Luft unterbindet überhaupt jede Verbrennungsmöglichkeit. Da alle Feuer Sauerstoff verzehren, so verliert durch das Feuer selbst die Luft die Fähigkeit zur Unterhaltung des Brennens. In dicht abgeschlossenen Gefäßen und Räumen, wo also Zutritt neuer sauerstoffhaltiger Luft verhindert ist, wird das Verbrennen durch das Verschwinden des Sauerstoffs bald sich abschwächen und schließlich ganz aufhören.

Der Sauerstoff hat ein spezifisches Gewicht, das bedeutend höher als das des Wasserstoffs und sogar noch etwas höher als das der Luft ist. 1 Liter Luft wiegt bei 0° und 1 Atmosphäre 1,293 Gramm, 1 Liter Sauerstoff 1,429 Gramm. Ein Emporsteigen von mit Sauerstoff gefüllten Ballonen ist also ausgeschlossen.

c) Das Wasser.

Die Flammen sind Anzeichen und Orte chemischer Geschehnisse. Die Wasserstofflamme verkörpert einen einfachen und wichtigen Fall, der leicht aufzuklären und der für die chemischen Lehren ebenso grundlegend wie gestaltend ist. Sie verlangt für ihr Zustandekommen nicht nur Wasserstoff, sondern auch Sauerstoff; beide Gase werden gemeinsam innerhalb des Flammenraums verzehrt und, indem sie verschwinden, hier in einen neuen Stoff umgewandelt, für dessen Entstehung sie

beide zugleich notwendig sind. Dieser neue Stoff, der also eine aus Wasserstoff und Sauerstoff sich zusammensetzende chemische Verbindung ist, verläßt seine als Flamme erscheinende Geburtsstätte und breitet sich zunächst unsichtbar in der Nachbarschaft aus. Er ist uns gut vertraut und entpuppt sich als Wasserdampf. Wird ihm Gelegenheit geboten sich abzukühlen, so tritt er als Flüssigkeit, als gewöhnliches Wasser in Erscheinung. Man kann sich hiervon leicht durch einen Versuch überzeugen. Man erzeugt eine Wasserstoffflamme in einer großen durchsichtigen Glasflasche, die mit Sauerstoff oder auch nur mit Luft gefüllt ist, und wird beobachten können, daß bald die Gefäßwand sich trübt und mit feinen Tröpfchen beschlägt, die allmählich zusammensickern, herabrollen und auf dem Gefäßboden als sichtbares Wasser zusammenfließen.

Ob man Wasserstoff in Sauerstoff verbrennt oder ob man die Mischung beider Gase als Knallgas explodieren läßt, macht wohl für den Verlauf, nicht aber für das Produkt des chemischen Vorgangs einen Unterschied aus. Jedesmal entsteht Wasser, das eine Mal nur nach und nach, das andere Mal dagegen plötzlich und auf einen Schlag durch die ganze Menge hindurch. Der ganze von Knallgas erfüllte und von der Explosion betroffene Raum ist Ort des chemischen Geschehnisses, ist Ort der Wasserbildung. Wie der Verlauf des chemischen Vorgangs auch geleitet wird, auf jede Weise entspringt die wichtige Tatsache, daß Wasser eine chemische Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff, also selbst kein Element, sondern ein aus zwei Elementen zusammengesetzter Stoff ist.

Um diese Erkenntnis in ihrem vollen Umfange zu würdigen, muß man sich über den rein qualitativen Nachweis hinaus in die quantitative Seite des stattfindenden chemischen Vorgangs vertiefen. Wasserstoff und Sauerstoff kann man in ziemlich beliebigen Zahlenverhältnissen zu einem explodierenden Gasgemenge zusammenmischen und erhält dann je nach dem gewählten Verhältnis eine wechselnde Ausbeute an Wasser. Die größte Ausbeute wird erreicht, wenn auf 1 Raumteil Sauerstoff 2 Raumteile Wasserstoff kommen. Sie ist die höchst mögliche, da bei diesem Mischungsverhältnis das Knallgas sich völlig in Wasser verwandelt und die beiden Bestandteile restlos verschwinden. Jedes Abweichen von diesem Verhältnis schafft ungünstigere Bedingungen. Nimmt man beispielsweise auf 1 Liter Sauerstoff nicht 2 sondern $2^1/_2$ Liter Wasserstoff, so ist $^1/_2$ Liter des letzteren zuviel vorhanden; dieser Überschuß nimmt an der Wasserbildung überhaupt nicht teil und findet sich trotz eingetretener Explosion nachher als völlig unveränderter Wasserstoff wieder vor. Von den $2^1/_2$ Litern des Wasserstoffs wird also nur die erforderliche Menge, das sind 2 Liter, verbraucht und mit Sauerstoff chemisch verbunden; der Rest bleibt einfach übrig. Nimmt man umgekehrt vom Wasserstoff zu wenig, etwa nur 1,6 Liter, so reicht diese Menge zur Verbindung von nur 0,8 Liter Sauerstoff aus, von welchem somit 0,2 Liter keine Verwendung finden. Jede Abweichung vom Mischungsverhältnis 1 : 2 bedeutet also ein Übrigbleiben des einen oder des anderen Bestandteils bei der durch Explosion angezeigten Umwandlung des Knallgases in Wasser.

Läßt sich das Wasser aus seinen Bestandteilen zusammenfügen, so läßt es sich auch wieder in sie scheiden, und diese Wasserzerlegung offenbart die gleichen Zahlenbeziehungen. Die Zerlegung kann leicht mit Hilfe des elektrischen Stromes herbei-

geführt und so geleitet werden, daß die beiden Bestandteile räumlich und reinlich voneinander getrennt zur Abscheidung gelangen. Man verwendet hierzu den in Abb. 105 wiedergegebenen Wasserzersetzungsapparat, der im wesentlichen aus einem U-förmigen mit Wasser gefüllten Glasrohr besteht, dessen zwei Schenkel oben Hähne besitzen und unten von eingeschmolzenen Platindrähten getragene schmale Platinbleche enthalten. Der elektrische Strom fließt durch die eine der am Fuße des Apparats befindlichen Klemmschraube dem einen Platinblech zu, verläßt dieses und geht durch das Wasser hindurch auf das andere Platinblech, um von hier aus über die zweite Klemmschraube hinweg wieder auszutreten. An beiden Blechen findet dabei ein heftiges Aufsprudeln, eine Gasentwicklung statt; am ersten entsteht Sauerstoff und am zweiten Wasserstoff. Die Gase steigen getrennt in den Schenkeln hoch und sammeln sich bei geschlossenen Hähnen darin auf. Da die entstehenden Gase einen starken Druck ausüben, muß man, um einem Zerplatzen des Apparates vorzubeugen, der gepreßten Flüssigkeit einen Ausgang verschaffen, und dies wird durch ein oben mit einem kugelförmigen Sammelgefäß versehenes drittes Rohr erreicht, welches zur Aufnahme der herausgezwängten Flüssigkeit bestimmt und unten an die Krümmung des U-Rohres angeschmolzen ist. Reines Wasser leitet den elektrischen Strom fast gar nicht, und so fügt man ihm, um die Leitfähigkeit zu erhöhen, etwas Schwefelsäure hinzu.

Abb. 105. Zerlegung des Wassers durch den elektrischen Strom.

Die beiden sich in den Schenkeln ansammelnden Gase sind völlig farblos, und das eine erweist sich sofort durch seine Brennbarkeit als Wasserstoff und das andere durch die Wiederanfachung eines glimmenden Spans als Sauerstoff. Auf der Wasserstoffseite steht der Flüssigkeitsspiegel viel tiefer als auf der Sauerstoffseite; eine genaue Nachmessung der Gasräume zeigt, daß doppelt soviel Wasserstoff als Sauerstoff entstanden ist. Dieses Zahlenverhältnis ändert sich nicht, ob der Versuch lang oder kurz dauert, ob viel oder wenig von den Gasen sich entwickelt hat. Die beiden Gase treten hier gerade in dem Verhältnis auf, das für die Wasserbildung aus den Elementen erforderlich ist. Wenn man daher die durch den elektrischen Strom abgeschiedenen Gase zusammenmischt und zur Explosion bringt, bildet sich restlos Wasser und zwar wieder ebensoviel, als der Strom zerlegt hat.

Das festgestellte Verhältnis 1:2 fällt durch seine Einfachheit auf. Eine ebenso einfache Zahlenbeziehung zeigt sich, wenn man auf das sich bildende Wasser eingeht; nur muß dieses, damit es mit den angewandten Gasen vergleichbar ist, ebenfalls in gasförmigem Zustand, d. h. als Wasserdampf vorhanden sein. Die Versuche lehren, daß aus 1 Raumteil Sauerstoff und 2 Raumteilen Wasserstoff gerade 2 Raumteile Wasserdampf entstehen. Der Wasserdampf nimmt einen kleineren Raum ein als das Knallgas, aus dem er sich bildet; waren es vorher 3 Raumteile, die von Knallgas erfüllt waren, so sind es nachher, wenn dieses sich in Wasserdampf umgewandelt hat, nur noch 2 Raumteile. Die Volumverminderung bedeutet natürlich

keinen Verlust an Stoff und keinen Verstoß gegen das Gesetz von der Erhaltung der Materie, denn die Menge zu vergleichender Stoffe wird nicht durch die Raumerfüllung, sondern durch das Gewicht gemessen. Das Gesamtgewicht erfährt durch die Explosion keinerlei Veränderung. Überhaupt ist Voraussetzung für die Gültigkeit der beschriebenen Zahlenbeziehungen, daß Wasserstoff, Sauerstoff und Wasserdampf sich in völlig vergleichbaren Zuständen befinden, d. h. gleiche Temperatur besitzen und unter gleichem Druck stehen.

Da, wo diese Voraussetzung nicht erfüllt ist, verwischen sich die beschriebenen Gesetzmäßigkeiten; im Gegensatz zu den Raumverhältnissen sind die Gewichtsverhältnisse hiervon durchaus unabhängig. Diese letzteren lassen sich leicht berechnen, wenn man von dem Zustand ausgeht, in welchem die Gase sich bei der Temperatur von 0^0 und unter dem Druck von 1 Atmosphäre befinden. Auf 1 Liter Sauerstoff, der dann 1,429 Gramm wiegt, kommen 2 Liter Wasserstoff, die $2 \times 0{,}0899$ oder 0,1798 Gramm wiegen. Das Gewichtsverhältnis beträgt somit 1,429 : 0,1798 oder abgerundet 8 : 1. Die Wasserbildung erfolgt also auch dann, wenn die beteiligten Stoffe sich nicht in gleichen Zuständen befinden und sogar das Wasser flüssig ist, stets so, daß 8 Gewichtsteile Sauerstoff mit 1 Gewichtsteil Wasserstoff 9 Gewichtsteile Wasser ergeben.

Wie hier, so ist auch bei anderen chemischen Vorgängen, die sich zwischen Gasen abspielen, das Verhältnis der Gewichtsteile grundverschieden von dem der Raumteile. Im Gegensatz zum ersteren, das durch recht komplizierte Zahlen ausgedrückt ist, hat das letztere immer einfache Werte und befolgt damit ein von Gay-Lussac im Jahre 1808 ausgesprochenes Gesetz, welches lautet: *Alle Gase, zwischen denen sich chemische Vorgänge abspielen, setzen sich nach einfachen ganzzahligen Volumverhältnissen um.*

d) Das Molekulargewicht.

Um dieses Gesetz zu erklären, wurde im Jahre 1811 von Avogadro eine Hypothese aufgestellt, die sich in der Folge als außerordentlich fruchtbar erwies und heute die selbstverständliche Voraussetzung jeglicher chemischen Theorie bildet. Die Hypothese knüpft an die Vorstellung an, daß die Gase aus selbständigen kleinsten Teilchen bestehen, die in ein und demselben Gas alle von gleicher chemischer Natur sind. Diese Teilchen können Atome sein, brauchen es aber nicht zu sein, wie etwa im Falle des Wasserdampfes, wo jedes kleinste Teilchen ja aus zweierlei, aus Wasserstoff und Sauerstoff, also mindestens aus zwei Atomen, zusammengesetzt ist. Derartige kleinste Teilchen der Gase haben den Namen Molekül erhalten, abgeleitet von moles, die Masse, und molecula, kleinste Masse.

Die auch aus dem gleichartigen physikalischen Verhalten der Gase folgende Hypothese lautet: *Sämtliche Gase enthalten bei gleicher Temperatur und gleichem Druck im gleichen Volumen die gleiche Anzahl von Molekülen.* Für die meisten chemischen Betrachtungen genügt zu wissen, daß die Anzahl der Moleküle gleich ist; die Zahl selbst, die ungeheuer groß ist, braucht nicht bekannt zu sein. Auf physikalischem Wege kann man sie ermitteln, und so hat man gefunden, daß in 1 Liter eines Gases bei der Temperatur von 0^0 und dem Druck

von 1 Atmosphäre 27×10^{21} Moleküle enthalten sind. Der erste, der diese Zahl errechnete, war Loschmidt, und ihm zum Angedenken wird ihr auf 32 Gramm Sauerstoff umgerechneter Wert, der universelle Bedeutung hat, Loschmidtsche Zahl genannt.

Die Anwendung der Avogadroschen Hypothese auf die Knallgasexplosion führt zu wichtigen Ergebnissen. Sind unter den gegebenen Versuchsbedingungen N Moleküle Wasserstoff in 1 Liter Wasserstoffgas, so sind nach der Hypothese auch N Moleküle Sauerstoff in 1 Liter Sauerstoffgas und N Moleküle Wasser in 1 Liter Wasserdampf. Die Tatsache, daß 2 Liter Wasserstoffgas mit 1 Liter Sauerstoffgas 2 Liter Wasserdampf ergeben, besagt somit, daß $2N$ Moleküle Wasserstoff mit $1N$ Molekül Sauerstoff sich in $2N$ Moleküle Wasser verwandeln. Das Umsetzungsverhältnis der Moleküle ist also $2N : 1N : 2N$ oder vereinfacht angeschrieben 2:1:2. Aus der Erforschung der Knallgasexplosion folgt demnach: Aus 2 Molekülen Wasserstoff und 1 Molekül Sauerstoff entstehen durch chemische Umwandlung 2 Moleküle Wasser.

Nähme man nun als nächstliegenden Gedanken an, daß beim Wasserstoff und Sauerstoff das Molekül identisch wäre mit dem Atom und daß das Wassermolekül aus je einem Atom dieser Elemente bestände, so müßte die Gleichung:

$$H + O = HO$$

den chemischen Vorgang ausdrücken. Sie würde sagen, 1 Molekül Wasserstoff und 1 Molekül Sauerstoff gibt 1 Molekül Wasser; sie ist, da sie der obigen Folgerung aus der Avogadroschen Hypothese widerspricht, von Grund aus falsch. Selbst auch dann, wenn man das Wassermolekül nicht ganz so einfach auffaßt und die Gleichung abändert in:

$$2H + O = H_2O$$

gibt sie ein unrichtiges Bild; wohl würde sie nun besagen, daß auf 1 Molekül Sauerstoff 2 Moleküle Wasserstoff kommen, aber noch keineswegs, daß gerade 2 Moleküle Wasser entstehen. Um zu einer Übereinstimmung zu gelangen, muß man die Formel für das Wasserstoffmolekül durch das Symbol H_2 ausdrücken, also annehmen, daß dieses Molekül aus 2 Atomen sich aufbaut. Analog ist anzunehmen, daß auch das Molekül des Sauerstoffs aus 2 Atomen besteht. Die Gleichung für die Bildung des Wassers aus seinen Elementen gestaltet sich jetzt folgendermaßen:

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O\,.$$

Sie spricht in voller Klarheit aus, daß 2 Moleküle Wasserstoff sich gerade zu 2 Molekülen Wasser umsetzen. Das Wassermolekül erhält damit die chemische Formel H_2O, d. h. es baut sich aus insgesamt 3 Atomen, nämlich aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom auf. Diese Formel ist zugleich ein Bild der quantitativen Zusammensetzung, denn nach der Atomgewichtstabelle verhalten sich die Gewichte von 2 Wasserstoffatomen und 1 Sauerstoffatom wie $2 \times 1{,}008 : 1 \times 16$ oder vereinfacht und abgerundet entsprechend dem Versuchsergebnis wie 1 : 8.

Die chemische Natur eines Stoffes ist durch den Aufbau seiner Moleküle festgelegt, und daher die chemische Formelsprache so ersonnen, daß sie sich immer auf die Moleküle bezieht. Das Molekül einer chemischen Verbindung besteht aus den Atom-

arten der zusammensetzenden Elemente, also aus mindestens zwei, meistens aber aus bedeutend mehr Atomen. Ihre Zahl ist in der Regel noch erheblich größer als die Anzahl zusammensetzender Elemente, weil, wie schon die Wasserformel mit ihrer Verdoppelung des H-Symbols lehrt, ein und dieselbe Atomart mehrfach im Molekül vertreten sein kann. Die Elemente selbst enthalten in ihren Molekülen naturgemäß nur eine einzige Atomart, die aber, wie die Formeln H_2 und O_2 beweisen, häufig gleichfalls mehrfach vertreten ist. Elemente, bei denen keine solche mehrfache Vertretung und das Molekül nur aus einem einzigen Atom besteht, sind Helium und die übrigen Edelgase. Die chemische Formel des Heliumgases schreibt sich in Anbetracht der Einatomigkeit seiner Moleküle kurzweg nur He.

Jedes Molekül hat ein bestimmtes Gewicht, das man in derselben Maßeinheit wie die Atomgewichte angibt und dann als Molekulargewicht bezeichnet. Aus der chemischen Formel heraus kann man es durch Addition der einzelnen Atomgewichte leicht berechnen. Das Molekulargewicht des Sauerstoffs O_2 beträgt $2 \times 16 = 32$ und das des Wasserstoffs H_2 abgerundet $2 \times 1 = 2$. Das des Wassers ergibt sich aus der Formel H_2O zu $2 \times 1 + 1 \times 16 = 18$. Beim Helium haben Molekular- und Atomgewicht denselben Wert und sind beide gleich 4.

Das Molekulargewicht ist auf rein physikalischem Wege ohne Kenntnis der chemischen Zusammensetzung des Stoffes experimentell bestimmbar, und damit wird eine physikalische Untersuchungsmethode zum Prüfstein der Richtigkeit der gewählten chemischen Formel. Alle diese Wege beruhen wieder auf der Avogadroschen Hypothese und der nächstliegende geht von dem spezifischen Gewicht oder der Dichte der Gase aus. Die Gewichte von je einem Liter verschiedener Gase, die unter gleicher Temperatur und gleichem Druck stehen, verhalten sich wie die Dichten; da nun jedesmal gleichviel Moleküle vorhanden sind, so heißt dies, daß auch die Gewichte der Moleküle selbst sich wie die Dichten verhalten. Mit anderen Worten: Die Molekulargewichte der gasförmigen Stoffe sind der Gasdichte proportional. Um auf dieser theoretischen Unterlage das Molekulargewicht zu bestimmen, arbeitet man so, daß man zunächst die Gasdichte des betreffenden Stoffes ermittelt und dann diese in Proportion zur bekannten Dichte des Sauerstoffs setzt. Da das Molekulargewicht des letzteren zu 32 festliegt, so ist nun das gesuchte Molekulargewicht ohne weiteres berechenbar. Sollen Stoffe untersucht werden, die bei gewöhnlicher Temperatur nicht gasförmig sind, so erhitzt man sie so hoch, daß sie Dampfzustand annehmen und damit den Gasen vergleichbar werden. Nach dieser Dampfdichtemethode sind die Molekulargewichte zahlreicher Stoffe bestimmt worden.

Für viele chemische Rechnungen hat es sich als zweckmäßig erwiesen, den Begriff Gramm-Molekül oder Mol einzuführen. Man versteht unter einem Mol diejenige Menge eines Stoffes, die gleich dem in Grammen ausgedrückten Molekulargewicht ist. 1 Mol Wasserstoff wiegt nach dieser Definition 2 Gramm und 1 Mol Sauerstoff 32 Gramm. Beim Wasser beträgt das Mol 18 Gramm. Der von 1 Mol im Gaszustande eingenommene Raum ist für alle Stoffe gleich groß und bei 0^0 und 1 Atmosphäre Druck gleich 22,41 Liter. Man kann dieses Ergebnis auch umgekehrt auslegen, indem man sagt, 22,41 Liter eines Gases bedeuten 1 Mol desselben; ihr Gewicht bemißt das in Grammen ausgedrückte Molekulargewicht. Die Loschmidt-

sche Zahl gibt an, wieviele Moleküle in einem Mol enthalten sind; sie beträgt $6{,}06 \times 10^{23}$ und ist eine Universalkonstante, die weder von der Natur des Stoffes noch von dessen Aggregatzustand abhängt.

Wie übersichtlich die quantitativen Beziehungen sich bei Benützung des Molbegriffs gestalten, zeigt folgendes Beispiel, das die Entwicklung von Wasserstoff aus Zink Zn und Schwefelsäure H_2SO_4 behandelt. Die Gleichung:

$$Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2$$

lehrt, daß auf jedes Molekül Schwefelsäure, das verschwindet, ein Molekül Wasserstoff entsteht. Aus 1 Mol Schwefelsäure, das sind 98 Gramm, entwickelt sich also 1 Mol Wasserstoffgas, das sind bei 0^0 und 1 Atmosphäre 22,41 Liter.

II. Anorganische Verbindungen.

A. Die Verbrennungen.

Seit den ältesten Zeiten haben die Menschen das Feuer gekannt. Da sie aber über seine Natur ganz im Unklaren waren, so verbanden sie damit religiöse und mystische Anschauungen, und erst mit dem Aufkommen bewußt gewollter Versuche wurde das Feuer in die chemische Erscheinungswelt eingereiht. Bestimmtere Ansichten reiften gegen Ende des siebzehnten Jahrhunderts, als die Phlogistontheorie entstand, die, obwohl sie nur eine vorübergehende Epoche in der Entwicklungsgeschichte bedeutete, sich in zahlreichen Anregungen und Entdeckungen auswirkte. Ausgehend von zuvor von Johann Joachim Becher (1635—1682) ausgesprochenen Gedanken schuf der Arzt und Chemiker Georg Ernst Stahl (1660—1734) diese Lehre, die ein großes Reich von Tatsachen geistvoll umspannte und mehr als 100 Jahre lang die chemischen Vorstellungen beherrschte. Unter Phlogiston sollte ein Stoff verstanden sein, der überall da, wo er Bestandteil sei, Entzündlichkeit und Brennbarkeit verursache. Sein Ausströmen und Übertreten in die Umgebung sei der wahre Sinn und der wesentliche Vorgang der Verbrennungen. Man nahm an, daß insbesondere die Kohlen reich an Phlogiston seien, das sie nicht nur bei der Verbrennung abgeben, sondern auch bei chemischen Umsetzungen mit anderen Stoffen auf diese übertragen können. Die Metalle wurden als chemische Verbindungen des Phlogistons angesprochen, und wenn beispielsweise glühendes Eisen in der Schmiede zu schwarzem Hammerschlag verbrennt, so wäre hierbei nur der im Metall enthaltene Phlogiston entwichen. Wenn umgekehrt durch Erhitzen vom Hammerschlag mit Kohle das Eisen zurückgebildet wird, so hat ersterer von dieser wieder Phlogiston empfangen und sich damit wieder zum Metall verbunden. Die Schwächen der Lehre vom Phlogiston lagen darin, daß man einerseits diese Substanz nicht fassen und herstellen konnte und andererseits den stattfindenden Gewichtsänderungen nicht genügenden Nachdruck zollte. Die Metalle werden beim Verbrennen nicht leichter, sondern schwerer, und diese Tatsache reimt sich mit der Vorstellung, daß hierbei etwas entweiche, trotz aller versuchten Auslegungen, in keiner Weise zusammen. Mit der Entdeckung des Sauerstoffs und der Feststellung der Eigenschaften desselben war der Fall der Phlogistontheorie besiegelt, und das Tor zur richtigen Erkenntnis,

durch das als erster Lavoisier schritt, öffnete weit und verheißungsvoll seine Flügel.

Die Verbrennungen sind chemische Vorgänge, welche Sauerstoff erfordern und ihn verbrauchen. Am leichtesten zu verstehen ist das Verbrennen von Elementen, denn was sich hier vollzieht, ist einfach eine chemische Vereinigung des Elements mit Sauerstoff. Beide verschwinden und etwas Neues tritt zutage, das Verbrennungsprodukt. Die so entstehende Substanz ist eine Sauerstoffverbindung des Elements und wird als ein Oxyd bezeichnet. Das Wasser als Verbrennungsprodukt und Sauerstoffverbindung des Wasserstoffs kann demnach auch Wasserstoffoxyd genannt werden. Zu den Oxyden gehört gleichfalls der Hammerschlag, zu dem die beim Hämmern von glühendem Eisen abspringenden Metallteile verbrennen.

Verbrennung von Elementen heißt chemisch gesprochen Überführung ins Oxyd. Diese Umwandlung ist von einer Wärmeentwicklung begleitet, die in vielen Fällen sehr groß ist und dann zu glänzenden Experimenten Gelegenheit gibt. So verbrennt ein Magnesiumdraht in reinem Sauerstoff mit noch blendenderem Licht als in Luft, mit einer strahlenden Weißglut, die für das Auge, das durch eine blaue Brille geschützt werden muß, unerträglich ist. Das Verbrennungsprodukt, die weiße Magnesia, ist auf Grund dieses Versuches als Magnesiumoxyd anzusprechen und hat die durch die Formel MgO ausgedrückte Zusammensetzung. Diese künstlich aus ihren Elementen hergestellte Magnesia deckt sich in allen ihren Eigenschaften mit der gewöhnlichen, die auf ganz anderem Wege aus natürlichen Magnesiummineralien gewonnen wird und die Namen Bittererde und Talkerde führt. Beide Produkte unterscheiden sich in nichts voneinander und zeigen damit, daß Oxyde auf mehrere Weisen entstehen können. Der Weg über die Verbrennung hat in diesem Falle nur rein theoretische Bedeutung, nämlich die, die Zusammensetzung aufzuklären. Zur technischen Herstellung von Magnesia wird man ihn aus Gründen der Wirtschaftlichkeit nie beschreiten; hingegen hat die ihn begleitende ungeheure Lichtentwicklung praktisches Interesse und macht Magnesiumpulver vorzüglich geeignet zur Bereitung von Blitzlicht.

Ähnlich dem Magnesium können auch andere Metalle, so das Zink und das Zinn, unter heller Lichtentwicklung zu Oxyden verbrannt werden. Die Zusammensetzung der Verbrennungsprodukte, die beide Male wiederum weiße pulvrige Substanzen sind, ist aber nicht gleichartig, denn während sie sich beim Zinkoxyd noch analog wie bei der Magnesia durch die Formel ZnO ausdrückt, befolgt sie beim Zinnoxyd die anders lautende Formel SnO_2. Es ist also durchaus nicht notwendig, daß in den Oxyden mit je einem Atom des Metalls nur ein einziges Atom Sauerstoff verbunden ist, und das schon als Hammerschlag erwähnte Oxyd des Eisens hat sogar die ziemlich verwickelte Zusammensetzung Fe_3O_4.

Wie von den Metallen, so leiten sich auch von den nichtmetallischen Elementen Oxyde ab. Auch diese können auf dem Wege der Verbrennung und unter Umständen ebenfalls unter starker Lichtentwicklung entstehen. Ein Beispiel hierfür ist der Phosphor, eine giftige, wachsartig aussehende Substanz, die man wegen ihrer Feuergefährlichkeit unter Wasser aufbewahren muß. In abgetrocknetem Zustand bricht sie leicht schon beim bloßen Reiben in helle Flammen aus, so daß beim Arbeiten mit ihr stets große Vorsicht zu walten hat. Entzündet man ein Stückchen Phosphor,

das sich in einer mit Sauerstoff gefüllten Flasche befindet, etwa durch Betupfen mit einem angewärmten Glasstab, so vollzieht sich die Verbrennung mit strahlendem blendendem weißem Licht. Zugleich erfüllt sich das Gefäß mit dickem weißem Rauch, der das grelle Licht nach und nach abstumpft und sich nach beendetem Versuch allmählich als weißer feinpulveriger Beschlag auf Flaschenwand und -boden absetzt. Die Substanz, aus welcher Rauch und Beschlag bestehen, ist das Verbrennungsprodukt, ist die entstandene Sauerstoffverbindung des Phosphors. Sie zeigt die nicht ganz einfache Zusammensetzung P_2O_5 und hat zum Hinweis auf die darin auftretende Fünfzahl den Namen Phosphorpentoxyd erhalten.

Das Phosphorpentoxyd steht in nächster Beziehung zur Phosphorsäure, und in diesem Zusammenhang wird verständlich, warum für die zu den Verbrennungsvorgängen erforderliche Luftart gerade der Name Sauerstoff aufgekommen ist. Das Phosphorpentoxyd verbindet sich sehr leicht mit Wasser; es löst sich in diesem unter Zischen auf und verwandelt sich hierdurch in Phosphorsäure, welche also den Sauerstoffgehalt des Oxyds in sich birgt. Lavoisier nahm an, daß dieser Gehalt wesentlich und unumgänglich für eine Säure sei und sah in ihm die wahre Ursache des sauren Charakters. Er nannte deshalb diesen Bestandteil den Säureerzeuger oder Oxygenium, zu deutsch Sauerstoff. Obwohl eine sehr große Anzahl von Säuren tatsächlich sauerstoffhaltig ist, und obwohl in zahlreichen Fällen der saure Charakter mit höherem Sauerstoffgehalt sich verstärkt, so kann von einer allgemeinen Geltung dieser Auffassung doch keine Rede sein. Bald erkannte man, daß es auch sauerstofffreie Säuren gibt. Die Benennung Sauerstoff hatte sich aber inzwischen so eingebürgert, daß sie nicht mehr verschwand.

Weitaus die meisten Oxyde sind feste Körper. Beurteilt nach dem Zustand bei gewöhnlicher oder Zimmertemperatur sind fest vor allem die Oxyde der Metalle; die der nichtmetallischen Elemente sind zwar gleichfalls oft fest, wie das Phosphorpentoxyd beweist, doch begegnet man bei ihnen außer dem vom Wasser vertretenen flüssigen Aggregatzustand häufig auch dem gasförmigen. Ein besonders wichtiger Vertreter der gasförmigen Oxyde ist das Verbrennungsprodukt, das aus dem Schwefel entsteht. An der Luft angezündet, verbrennen die gelben Schwefelstücke, indem sie zuvor zu einer honigfarbenen Flüssigkeit zusammenschmelzen, mit schwachem, leicht wieder erlöschendem, kaum sichtbarem blauem Flämmchen. In Sauerstoff findet die Verbrennung viel lebhafter und unter Entwicklung einer helleuchtenden blauen Flamme statt. Der Schwefel verschwindet hier schnell und restlos, und für das Auge scheint sich alles in das Nichts aufzulösen. In Wirklichkeit hat sich aber ein neuer Stoff gebildet, der sich nur dem Blick entzieht, und zwar deswegen, weil er gasförmig, farblos und durchsichtig wie die Luft ist. Er macht sich sofort mit vollem Nachdruck bemerkbar, wenn er Gelegenheit zur Wirkung auf die Nase hat. Der charakteristische stechende Geruch, der überall da, wo Schwefel verbrennt, auftritt, ist nicht diesem eigentümlich, sondern dem entstehenden gasförmigen Oxyd, das gemäß seiner Zusammensetzung SO_2 als Schwefeldioxyd bezeichnet wird.

Der Schwefel bildet außer diesem Oxyd noch ein zweites, das sich beim Verbrennungsvorgang höchstens nur in kleinen Mengen beigesellt und das einen erheblich höheren Gehalt an Sauerstoff aufweist. Um die Bildung des sauerstoffreicheren Oxyds zu erreichen, kann man so vorgehen, daß man ein Gemisch von

schon fertigem Schwefeldioxyd und reinem Sauerstoff durch eine angeheizte Glasröhre leitet, in welcher sich Platinasbest befindet. Das fein verteilte Platin, für welches der faserige unverbrennbare Asbest lediglich als Träger und Unterlage dient, führt die chemische Vereinigung der Gase herbei, ohne selbst durch den Vorgang verändert zu werden. Das aus dem anderen Ende der Röhre entweichende Produkt ist zunächst dampfförmig, verflüssigt sich dann farblos beim Abkühlen und erstarrt allmählich zu einem weißen festen Körper. Wo es mit der Luft in Berührung kommt, breitet sich ein undurchsichtiger, dicker, stark reizender weißer Qualm aus, an dem dieses Schwefeltrioxyd SO_3 leicht kenntlich ist. Charakteristisch für dasselbe ist die leichte Überführbarkeit in Schwefelsäure; beim Einwerfen in Wasser löst es sich darin unter heftigem Zischen, unter Umständen unter Explosion und verbindet sich damit zu der Säure. Die Schwefelsäure leitet sich also von dem sauerstoffreicheren der beiden Schwefeloxyde ab.

Die Fähigkeit, mehrere Oxyde zu bilden, findet sich bei den meisten Elementen und beschränkt sich keineswegs auf den Schwefel allein: So geht der Phosphor außer dem beschriebenem Pentoxyd noch andere Oxyde ein, die alle sauerstoffärmer sind. Je größer die Anzahl der Oxyde ist, welche ein Element bildet, desto erschwerter ist natürlich die Namengebung. Häufig bedient man sich hierzu der griechischen Zahlwörter, wie die Benennungen Tri- und Pentoxyd bezeugen; vielfach ist es auch gebräuchlich, die sauerstoffärmeren Oxyde als Oxydul zu bezeichnen. Dieser Weg ist z. B. beim Eisen eingeschlagen, wo man neben dem Eisenoxyd Fe_2O_3 das Eisenoxydul FeO kennt. Die durch Verbrennen des Metalls entstehende Sauerstoffverbindung hat einen dazwischen liegenden Sauerstoffgehalt; ihrer Formel Fe_3O_4 gemäß kann man sie als eine chemische Vereinigung von FeO mit Fe_2O_3 auffassen und gibt ihr daher den Namen Eisen-Oxyduloxyd.

Gibt es einerseits Elemente, die vielerlei Oxyde bilden, so gibt es andererseits auch wieder solche, bei denen die Herstellung von Oxyden bis heute noch nicht gelang. Bei den Edelgasen von der Art des Heliums, Argons usw. ist dies nicht weiter verwunderlich, denn diese verbinden sich nicht nur mit Sauerstoff nicht, sondern auch nicht mit anderen Stoffen. Von den übrigen Elementen ist das Fluor anzuführen, das, obwohl es sich sonst durch eine ganz außerordentliche Verbindungsfähigkeit auszeichnet, gerade der Herstellung eines Oxyds Schwierigkeiten bietet; nach neuesten Versuchen ist sie dennoch möglich. Der Weg zur Gewinnung von Oxyden braucht übrigens durchaus nicht immer über die unmittelbare Verbrennung des Elementes zu gehen. Edelmetalle wie Gold und Platin verbrennen überhaupt nicht, und um hier zu den Oxyden zu gelangen, muß man verwickeltere chemische Umwege einschlagen.

B. Oxyde des Kohlenstoffs.

Wissenschaftlich und wirtschaftlich von ganz besonderer Bedeutung sind die Vorgänge, die sich beim Verbrennen des Kohlenstoffs und seiner Verbindungen abspielen. Der Kohlenstoff ist ein brennbares schwarzes Element, das uns die Natur in allerdings unreiner Form in den Kohlen darbietet. Eine reine Form desselben ist der Ruß, jener fein verteilte schwarze Stoff, der sich aus leuchtenden gewöhnlichen

Flammen bei unrichtiger Regelung oder beim Hineinbringen eines kalten unverbrennlichen Gegenstandes abscheidet. Reiner Ruß, d. h. reiner Kohlenstoff ist ohne jeden Rückstand verbrennbar; wird er in einem Porzellan- oder Platintiegel, den man von außen auf Rotglut heizt, hoch erhitzt, so verschwindet er restlos, und das Gefäß enthält nachher auch nicht die geringste Spur von irgend etwas. Diese vollkommene Verflüchtigung ist ein Kennzeichen der Reinheit und findet bei den natürlichen Kohlen, auch wenn noch so lange geglüht wird, nicht statt. Sie hinterlassen eine Rückstand, die Asche, die wohl an Gewicht bedeutend weniger ausmacht, aber unzweifelhaft einen nicht weiter verbrennbaren Überrest darstellt. Der Rückstand rührt von anderen in den Kohlen vorhandenen Bestandteilen her, die mit dem Kohlenstoff gar nichts zu tun haben und hinterbleiben, wenn alles Brennbare sich verflüchtigt hat. Der Gütegrad einer Kohle ist demnach um so höher, je weniger Asche sie liefert.

Das durch Verbrennen des Kohlenstoffs entstehende Oxyd ist ein farbloses Gas, das mit der umgebenden Luft sich mischend, davonweht und der unmittelbaren Wahrnehmung sich meistens völlig entzieht, da es auf keines der Sinneswerkzeuge eine auffällige Wirkung ausübt. Das Gas hat die chemische Formel CO_2 und wird als Kohlendioxyd, fälschlicherweise oft auch als Kohlensäure bezeichnet. Der zweite Name ist darauf zurückzuführen, daß an wäßrigen Auflösungen des Gases, wie sie in natürlichen Säuerlingen oder in zubereiteten perlenden und schäumenden Getränken vorliegen, deutlich Eigenschaften einer Säure zutage treten. Das Gas entfaltet aber erst in Gegenwart von Wasser diese Eigenschaften und ist für sich allein noch keine Säure.

Da das Kohlendioxyd jedem Feuer entweicht, so ist es ein stets anzutreffender Bestandteil der freien atmosphärischen Luft, die auf 10000 Raumteile etwa 3 bis 4 Raumteile von ihm enthält. Außer durch Verbrennungen gelangt aber noch durch andere Ursachen Kohlendioxyd in die Luft. So entströmt es an manchen Orten Erdspalten in derart reichlichen Mengen, daß sich sein Auffangen verlohnt und technisch durchgeführt wird. Gärung, Verwesung und Atmung sind gleichfalls Vorgänge, bei denen es entsteht und in die Luft gelangt. Gewissermaßen zu Stein erstarrt, nimmt es auch am Aufbau der Erdkrume teil; chemisch an andere Stoffe gefesselt, bildet es als Kalkstein Schichten der Erdoberfläche und ganze Gebirgszüge. Auf verschiedene Weisen läßt sich das Kohlendioxyd dem Kalkstein wieder entbinden.

Wird der Kalkstein sehr hoch erhitzt, so gibt er das in ihm chemisch gebundene Kohlendioxyd ab, und die einzelnen Stücke vermindern, ohne daß sich ihre Gestalt ändert, ihr Gewicht um den Betrag des entwichenen Gases. Dieses sogenannte Brennen des Kalksteins, das im großen in gemauerten Öfen erfolgt, ist keine Verbrennung des Steins, der unverbrennbar ist, sondern nur eine durch die hohe Temperatur bewirkte Zerlegung in zwei Produkte, in das wegströmende gasförmige Kohlendioxyd und in den hinterbleibenden gebrannten Kalk. Was verbrennt, ist allein das beigefügte Feuerungsmaterial, das die hohe Temperatur erzeugt. Der entstehende gebrannte Kalk, der Brantkalk, der von altersher eine vielseitige praktische Anwendung findet, ist seiner chemischen Natur nach eine sehr einfach zusammengesetzte Substanz. Man hat ihn als Oxyd eines metallischen Elementes, des Calciums, erkannt und

ihn seiner Formel CaO entsprechend Calciumoxyd genannt. Mit Kohlendioxyd bei gewöhnlicher Temperatur zusammengebracht, nimmt er dieses wieder auf, so daß man je nach den Hitzegraden und Arbeitsbedingungen Zerlegung und Rückbildung des Kalksteins willkürlich leiten kann. Dieser umkehrbare Vorgang läßt sich durch das Schema

$$CaCO_3 \rightleftarrows CaO + CO_2$$

ausdrücken, in welchem der obere Pfeil die Zerlegung und der untere die Rückbildung angibt. Der Kalkstein besteht sonach aus einer Substanz von der Zusammensetzung $CaCO_3$, aus dem Calciumkarbonat.

Eine besondere Eigentümlichkeit des gebrannten Kalks ist das Vermögen, beim Übergießen und überhaupt beim Zusammenbringen mit Wasser von selbst heiß zu werden und so viel Wärme zu entwickeln, daß die Flüssigkeit ins Kochen gerät und Dampfwolken aufsteigen. Bei diesem Ablöschen, wie der Fachausdruck lautet, zerfällt er zu einem weißen Mehl, zu gelöschtem Kalk oder Löschkalk, der mit wenig Wasser angerührt einen Kalkbrei und mit mehr Wasser die Kalkmilch gibt. Die Wärmeentwicklung und das Zerfallen sind das äußere Anzeichen einer chemischen Veränderung; der gebrannte Kalk geht durch chemische Bindung von Wasser in den gelöschten über:

$$CaO + H_2O = Ca(OH)_2.$$

Der gelöschte Kalk ist etwas in Wasser löslich, und wenn man daher eine Kalkmilch ruhig stehen läßt, so stellt die klare über dem absitzenden weißen Kalkschlamm befindliche Flüssigkeit eine reine Kalklösung dar. Rascher gelangt man zum Ziel durch Filtrieren; auf dem Filtrierpapier bleibt der Kalkschlamm liegen, und aus dem Trichter läuft das klare Kalkwasser ab.

In jedem dieser Zustände nimmt der Kalk leicht wieder Kohlendioxyd auf, um Calciumkarbonat zurückzubilden, und diese Fähigkeit kann dazu dienen, um die Gegenwart des Gases nachzuweisen. Klares Kalkwasser, das mit Kohlendioxyd in Berührung ist und daher dieses aufnimmt, trübt sich beim Umrühren und scheidet einen weißen Niederschlag, das entstandene Calciumkarbonat, aus. Will man feststellen, ob die in einer Flasche enthaltene Luft kohlendioxydhaltig ist, so gießt man etwas klares Kalkwasser hinzu, verschließt die Flasche und schüttelt ihren Inhalt kräftig durcheinander. Eintretende Trübung beweist das Vorhandensein von Kohlendioxyd. Bläst man, anstatt auszuatmen, den Atem durch ein Röhrchen in klares Kalkwasser, so stellt sich sofort eine starke Trübung ein; die Lungen geben also Kohlendioxyd ab. Um darzutun, daß verbrennender Kohlenstoff sich in Kohlendioxyd verwandelt, ist eine Versuchsanordnung nötig, die das entstehende Gas am Davoneilen hindert und ihm eine bestimmte Bahn vorschreibt. Eine einfache Apparatur besteht darin, daß man sich einer wagrecht gelagerten Röhre aus schwer schmelzbarem Glas bedient, welche die Kohlestückchen, etwa Holzkohle, aufzunehmen hat und von außen stark beheizt wird. Durch Schläuche oder andere geeignete Vorrichtungen wird durch das eine Röhrenende Sauerstoff zugeleitet und durch das andere das Kohlendioxyd ab- und noch durch klares Kalkwasser durchgeleitet. Die Stückchen verbrennen unter Erglühen, und das Kalkwasser beginnt sich zu trüben.

Um die Eigenschaften des Kohlendioxyd kennenzulernen, verwendet man zweckmäßig das käufliche Gas, das in druckfeste stählerne Zylinder bis zum flüssigen Zustand zusammengepreßt in den Handel gebracht wird. Beim Öffnen des Ventils strömt unter allmählicher Vergasung des flüssigen Inhalts der gasförmige heraus. Zur Herstellung von Kohlendioxyd im Kleinen ist es am einfachsten, vom Calciumkarbonat auszugehen. Man verwendet dazu eine besondere Form dieser Substanz, den Marmor, und treibt aus ihm nicht durch Erhitzen, sondern durch Zufügen von Salzsäure das Kohlendioxyd aus. Bei Benützung des schon beim Wasserstoff beschriebenen Kippschen Apparates, in dessen mittlere Kugel man diesmal statt Zink Marmorstücke einlegt, hat man das Gas nach Belieben zur Verfügung.

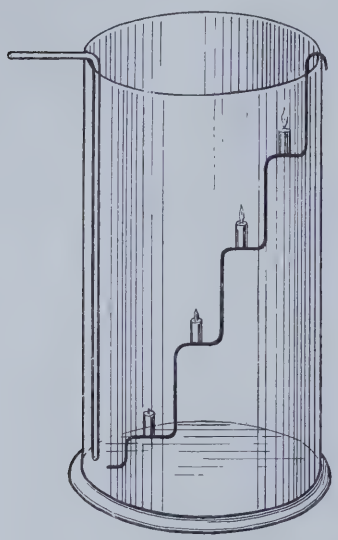


Abb. 106.

Von den physikalischen Eigenschaften des Kohlendioxyds ist eine der wichtigsten, daß es spezifisch schwerer als Luft ist und in dieser, bevor es sich mit ihr völlig durchmischt, zunächst untersinkt. 1 Liter des Gases wiegt unter Normalbedingungen 1,977 Gramm, also das 1,529fache oder rund anderthalbfache von 1 Liter Luft.

Von den chemischen Eigenschaften ist an die Spitze zu stellen, daß es seinen Sauerstoffgehalt sehr fest bindet. Dies äußert sich darin, daß in Räumen, die mit Kohlendioxyd erfüllt sind, Verbrennungen nicht mehr eintreten. Flammen, die in Luft brennen, erlöschen, wenn diese durch Kohlendioxyd verdrängt wird. Diese Tatsache, vereint mit der, daß das Gas anderthalb mal schwerer als Luft ist, läßt sich in schönen Experimenten vorführen. Ordnet man z. B., wie es Abb. 106 zeigt, eine Reihe von brennenden Kerzen auf einem treppenförmigen Gestell, das sich im oben offenen Gefäß befindet, gestaffelt an und leitet dann durch ein bis zum Boden reichendes Röhrchen Kohlendioxyd ein, so geht eine um die andere Kerze aus. Das Gas sammelt sich, ähnlich wie eine Flüssigkeit, aber dem Auge völlig unbemerkbar, zunächst am Boden an, und sein Spiegel steigt in dem Maße höher als mehr von ihm zugeleitet wird; wie durch Zauberspuk erlischt scheinbar ohne Ursache die untere Kerze, dann die nächsthöhere und schließlich die oberste. In dem Gefäß sind Flammen nicht mehr möglich. Wohl kann man die Kerzen, wenn man sie zuvor herauszieht, wieder entzünden, sowie sie aber in das Gefäß zurückverbracht werden, erlöschen sie augenblicklich aufs neue. Man hat nur nötig, das Gefäß kurze Zeit umzukehren, dann fällt das Kohlendioxyd unsichtbar herunter und wird durch Luft ersetzt, und nun können die Kerzen wieder darin brennen. Von der Unfähigkeit des Kohlendioxyds, das Verbrennen zu unterhalten, macht man bei vielen Feuerlöschvorrichtungen praktischen Gebrauch. Beim Ingangsetzen wird bei ihnen durch chemische Umsetzungen Kohlendioxyd entwickelt, das der Brandstelle zugespritzt wird.

Ebenso wie das Feuer, so erstickt auch das Leben in einer Kohlendioxydatmosphäre.

Mensch und Tier haben Sauerstoff nötig, und das Kohlendioxyd kann diesen nicht ersetzen. Überall, wo es sich ansammelt, etwa in Schächten oder in Kellern, ist das Betreten der Räume lebensgefährlich. Berühmt ist die Hundsgrotte bei Neapel, in der auf dem Boden eine ungefähr einen halben Meter hohe Schicht des Gases lagert, so daß darin Hunde ersticken, während Menschen, weil ihr Einatmungsorgan höher oben ist, sich darin aufhalten können. Das Bestehen der Gefahr ist mit Hilfe einer Kerze erkennbar, denn da, wo diese aus Sauerstoffmangel nicht zu brennen vermag und ausgeht, erlischt auch das menschliche Leben.

Das Kohlendioxyd ist nicht das einzige Produkt, das sich bei der Verbrennung des Kohlenstoffs bilden kann. Da, wo nicht genügend Luft und Sauerstoff Zutritt haben, bleibt der Vorgang sozusagen auf halber Linie stehen und entsteht das Kohlenoxyd, gleichfalls ein farbloses Gas, das die Formel CO, also im Molekül nur halb so viele Sauerstoffatome hat. Vom Kohlendioxyd unterscheidet es sich gründlich, zunächst dadurch, daß es auf Kalkwasser in keiner Weise einwirkt, ferner aber hauptsächlich dadurch, daß es brennbar ist. An der Luft verbrennt es mit schöner blauer Flamme, indem es das nachholt, was ihm bei der Bildung versagt war: es geht vollends in das Dioxyd über. Mischt man ihm Luft oder Sauerstoff bei, so hat man eine Art Knallgas, bei dem durch Zünden unter Explosion die Vereinigung zu Kohlendioxyd erfolgt:

$$2CO + O_2 = 2CO_2.$$

Die vorstehende Gleichung lehrt, daß hierbei je 2 Moleküle Kohlenoxyd mit 1 Molekül Sauerstoff in 2 Moleküle Kohlendioxyd übergehen.

Die blauen Flämmchen, die man in einem Ofen über dem Brennmaterial beobachten kann, sind verbrennendes Kohlenoxyd, dessen Bildung darauf beruht, daß glühende Kohlen dem Produkt der völligen Verbrennung, dem Kohlendioxyd die Hälfte Sauerstoff wieder entziehen, um sich selbst damit zu verbinden. Der Vorgang ist ausgedrückt durch:

$$CO_2 + C = 2CO$$

und führt sowohl Dioxyd als auch Kohle in Kohlenoxyd über. Im Ofenfeuer verbrennt die zu unterst befindliche, auf dem Rost aufsitzende Kohlenschicht infolge reichlichen Zuzugs von Luft vollständig bis zum Kohlendioxyd, die höher gelegenen glühenden Schichten aber, durch welche dieses hindurchströmt, nehmen ihm wieder Sauerstoff weg, und so entsteht Kohlenoxyd und kann bis zur obersten Schicht gelangen. Bei gehemmtem Abzug der Ofengase durch den Schornstein dringen diese in das Zimmer ein und machen, da sie Kohlenoxyd mitführen, den Aufenthalt gefährlich. Das Kohlenoxyd ist schon in sehr kleinen Mengen giftig; zunächst ruft es Kopfschmerzen und Schwindel hervor, dann Lähmung und Kinnbackenkrampf, und schließlich tritt unter Verlust des Bewußtseins der Erstickungstod ein. Die Gefahr ist um so größer, als das Kohlenoxyd völlig geruchlos und geschmacklos ist und daher unheimlich und unbemerkbar sich einschleicht. Je nach dem Brennmaterial sind häufig den Ofengasen noch andere Stoffe beigemischt, die riechen und so wenigstens indirekt auf die drohende Gefahr aufmerksam machen. Auch im gewöhnlichen Leuchtgas ist Kohlenoxyd enthalten; da aber das Leuchtgas stets riechende Bestandteile mit sich führt, so kann man ihm leicht aus dem Wege gehen.

Die Giftwirkung des Kohlenoxyds beruht auf seiner Fähigkeit, sich mit dem Hämoglobin, dem roten Blutfarbstoff, zu verbinden, der dadurch seiner normalen Funktion, Sauerstoff aus der Luft aufzunehmen und dem Organismus zuzutragen, entzogen wird. Das Kohlendioxyd ist sehr viel weniger giftig als das Kohlenoxyd und in kleinen Mengen nicht nur völlig unschädlich, sondern entfaltet ganz im Gegenteil sogar noch eine anregende erfrischende Wirkung, wie die Sauerbrunnen und schäumenden Getränke bezeugen.

Die Bildung von Kohlenoxyd aus glühenden Kohlen tritt bei vielerlei chemischen Vorgängen ein. So entziehen sie auch dem Wasser seinen Sauerstoffgehalt und verwandeln es in Wasserstoff zurück, indem sie selbst zu Kohlenoxyd vergasen:

$$C + H_2O = CO + H_2 .$$

Dieser Vorgang wird technisch durchgeführt und liefert das sogenannte Wassergas, das also aus Wasserstoff und Kohlenoxyd, aus zwei brennbaren Gasen besteht. Man verbrennt zunächst geeignete Kohlen so lange, bis sie sich zur vollen Glut erhitzt haben, steuert dann das Gebläse um und leitet nun zur Gasbereitung Wasserdampf über die glühenden Stücke. Das Wassergas ist infolge seines Gehalts an Kohlenoxyd äußerst giftig, und das Arbeiten mit ihm erfordert daher stets große Vorsicht.

Das Kohlenoxyd und das Kohlendioxyd sind die beiden wichtigsten Oxyde des Kohlenstoffs. Nicht auf dem Wege der Verbrennung sondern aus komplizierten Kohlenstoffverbindungen heraus lassen sich noch die Oxyde C_3O_2 und $C_{12}O_9$ gewinnen, interessante Substanzen, die jedoch von geringerer Bedeutung sind.

C. Oxydation.

Jeder chemische Vorgang, bei welchem der Sauerstoff eine Verbindung eingeht, wird als eine Oxydation bezeichnet. Verbrennungen sind also Oxydationen, denn die Verbrennungsprodukte sind Oxyde, sind Sauerstoffverbindungen. Der Begriff der Oxydation ist allgemeiner als der der Verbrennung und umspannt auch solche Vorgänge, bei denen die gewohnten Merkmale des Verbrennens: Hitze, Glut und Flamme, nicht auftreten. So ist auch das Rosten des Eisens eine Oxydation. Das Metall nimmt Luftsauerstoff auf und zerfällt dadurch zu einer braunroten Masse, deren Bildung sich im Gegensatz zu der eigentlichen Verbrennung nur sehr langsam und bei gewöhnlicher Temperatur vollzieht.

Die Verbrennungen sind nur Sonderfälle von Oxydationen, die eben infolge der Begleiterscheinungen mehr ins Auge fallen. Manche Oxydation, die zunächst langsam verläuft, kann so ausarten, daß sie sich dann als Verbrennung darbietet. Ein charakteristisches Beispiel dieser Art ist das Verhalten des Phosphors. Dieses Element zeigt die Eigentümlichkeit, beim Liegen an der Luft sich mit einem hellen Schimmer zu umgeben, der im Dunkeln leicht zu sehen ist und gespensterhaft jedes Stückchen umsäumt. Gerade diese Eigentümlichkeit ist es, die ihm zu seinem Namen verholfen hat, denn das aus dem Griechischen abgeleitete Wort Phosphor bedeutet in deutscher Sprache Lichtträger. Die Leuchterscheinung ist an die Gegenwart des Luftsauerstoffs geknüpft und beruht auf einer Oxydation des Phosphors, die ohne erhebliche

Wärmeentwicklung sich abspielt. Unter Umständen von allein, sicher durch Berühren mit einem angewärmten Draht, brechen plötzlich grelle heiße Flammen aus den Stücken hervor, und nun setzt die wahre schnelle Verbrennung ein. Die träge Vereinigung mit Sauerstoff bei gewöhnlicher Temperatur ist in eine rasche bei hoher Temperatur übergegangen.

Die Lichtentwicklung bei Verbrennungen, sei es als Glut, sei es als Flamme, hat ihre Ursache in der hohen Temperatur, die dadurch zustande kommt, daß infolge des schnellen Verlaufs des ganzen Vorgangs die entstehende Wärme nicht rasch genug abfließen kann. Wenn, wie im Falle des Phosphors, sich Licht schon bei langsamer Oxydation entwickelt, handelt es sich um eine Ursache anderer Art, um eine Ursache, die im chemischen Vorgang selbst gelegen und auch ohne Temperatursteigerung vorhanden ist. Sie schafft die Möglichkeit der Herstellung von *kalten Flammen*. Verbringt man in einen Glaskolben durch Ausbreiten auf Glaswolle fein verteilten Phosphor und leitet, wie Abb. 107 angibt, durch ein seitliches Rohr Kohlendioxyd ein, so bildet sich an der oberen Öffnung des schwach erwärmten Kolbens eine fahle große Flamme aus, die so kalt ist, daß man ohne Schaden die Hand hineinhalten kann. Die Flamme besteht aus Phosphordampf, der leuchtet und sich oxydiert, wenn er außerhalb des Gefäßes mit Luftsauerstoff in Berührung kommt.

Abb. 107.

Die Produkte, die auf dem Wege einer Oxydation entstehen, sind nur in einfachen Fällen Oxyde. Sehr häufig spielen in die Oxydation noch andere Vorgänge herein, und dann können Stoffe auftreten, die wohl in Beziehung zu den Oxyden stehen, aber doch von ganz anderer Natur sind. Verbrennt Phosphor in Sauerstoff, so verwandelt er sich in sein Pentoxyd; ist zugleich Wasser zugegen, so vereinigt sich das gebildete Oxyd sofort mit diesem und verwandelt sich so in Phosphorsäure, die nun als das tatsächliche Oxydationsprodukt erscheint. Das Wasser hemmt die Verbrennung oder Oxydation des Phosphors, sofern nur der Sauerstoff zu ihm Zutritt hat, in keiner Weise. Um dies zu zeigen, wirft man ein Stück Phosphor in warmes Wasser und leitet Sauerstoffgas mit Hilfe eines Röhrchens direkt auf den im Wasser zusammengeschmolzenen und untergesunkenen Phosphor hin. Er entzündet sich augenblicklich und bricht in der Flüssigkeit in helle Flammen aus. Die ganze Erscheinung ist ein schöner Beweis dafür, daß entgegen der Meinung des täglichen Lebens auch inmitten von Wasser Feuer möglich ist.

Bei den langsamen und ohne Entflammung verlaufenden Oxydationen ist meistens das Oxydationsprodukt nicht das Oxyd selbst. So besteht der Rost, in den sich oxydierendes Eisen übergeht, nicht unmittelbar aus einem Eisenoxyd. Er enthält noch Wasser in chemischer Bindung, das beim Rostvorgang aus der Luftfeuchtigkeit neben dem Luftsauerstoff aufgenommen wird; erst dann, wenn man nachträglich durch Glühen das Wasser austreibt, hinterbleibt das wirkliche Oxyd. Ein anderes Beispiel bietet uns das Kupfer dar. Dieses rote glänzende Metall wird an der Luft matt und überzieht sich allmählich mit einer grünen Schicht, mit der Patina, einer

chemischen Verbindung des Kupferoxyds mit Kohlensäure und Wasser. In beiden Beispielen und ebenso in vielen anderen sind die gemeinsam mit dem Sauerstoff aufgenommenen anderen Stoffe bestimmend für den Eintritt und Verlauf des Oxydationsvorganges. Werden diese anderen Stoffe ferngehalten, so bleibt die Oxydationswirkung aus, auch wenn der Sauerstoff in reichlichsten Mengen zur Verfügung steht. Die Oxydationsvorgänge zeigen sich also in wechselnden Bildern. Das eine Mal, wie etwa bei der beschriebenen Phosphorsäurebildung, sind Aufnahme des Sauerstoffs und Bindung anderer Stoffe lediglich aufeinanderfolgende Einzelvorgänge, von denen jeder auch für sich allein stattfinden kann. Das andere Mal, wie etwa das Rosten lehrt, sind beide Geschehnisse so innig miteinander verflochten, daß sie zusammen als unzerlegbarer Vorgang aufzufassen sind.

Die Oxydation ist einer der wichtigsten und häufigsten Vorgänge, denn nicht nur Elemente sondern erst recht zahlreiche chemische Verbindungen können ihr unterzogen werden. Die Elemente übertragen die ihnen innewohnende Oxydierbarkeit auf die chemischen Verbindungen, die sie untereinander eingehen. So kann wie Eisen und Schwefel selbst ebenso das aus ihnen zusammengesetzte Schwefeleisen in der Hitze durch Luft oder Sauerstoff verbrannt werden, und die Verbrennungsprodukte sind dieselben Oxyde, die auch aus dem einzelnen Element entstehen.

Hervorragende Wichtigkeit hat die Oxydation der chemischen Verbindungen des Kohlenstoffs. Die einfachst zusammengesetzten Vertreter der in unerschöpflicher Fülle möglichen Kohlenstoffverbindungen sind die Kohlenwasserstoffe, Verbindungen mit Wasserstoff, die, obwohl sie nur aus zwei Elementen bestehen, dennoch schon in großer Mannigfaltigkeit auftreten. Viele dieser Kohlenwasserstoffe finden wir vermischt miteinander als Erdöl, andere treffen wir im Steinkohlenteer an und gewinnen sie daraus, wie etwa das Benzol und das Naphthalin. Alle diese Kohlenwasserstoffe sind brennbar und verbrennen zu den Oxyden ihrer Elemente, zu Kohlendioxyd und Wasser. Mangelt es bei der Verbrennung an Sauerstoff, so oxydiert sich zuerst der Wasserstoffgehalt; der Kohlenstoff muß zurückstehen, er scheidet sich in der Flamme aus und verläßt sie als schwarze Rußflöckchen. Dieses Ausstoßen von Ruß ist zugleich ein augenscheinlicher Beleg dafür, daß die genannten Substanzen tatsächlich Verbindungen des Kohlenstoffs sind.

Den Kohlenwasserstoffen nahe stehen viele solche Kohlenstoffverbindungen, die überdies noch Sauerstoff enthalten und uns als Alkohole, Fette und Wachse entgegentreten. Infolge ihres Sauerstoffgehaltes erscheinen sie als schon zum Voraus oxydierte Stoffe; nur ist ihr Oxydationsgrad noch gering, und erst bei der Verbrennung, die wie bei Kohlenwasserstoffen zu Kohlendioxyd und Wasser führt, wird er vollständig. Wir können uns dies beispielsweise am Weingeist klar machen, der als brennbare Substanz den gewöhnlichen Alkohol von der Formel C_2H_6O in sich birgt. Die für die völlige Verbrennung erforderliche Sauerstoffmenge ergibt sich aus der Gleichung:

$$C_2H_6O + 3O_2 = 2CO_2 + 3H_2O$$

die offenbart, daß die Verbrennung noch 6mal mehr Sauerstoff verlangt, als im Alkohol vorher vorhanden ist. Diese Verhältnisse verschieben sich von Fall zu Fall,

und so folgt für den Hauptbestandteil des Holzes, die Zelluloſe $C_6H_{10}O_5$, aus der Gleichung aus:

$$C_6H_{10}O_5 + 6O_2 = 6CO_2 + 5H_2O\,.$$

daß hier nur noch das nur 2,4fache vom ursprünglichen Sauerstoffgehalt nötig ist.

Die Ausstoßung von Ruß beim Verbrennen ist, wie jede Wachskerze und jeder Holzspan beweist, bei sauerstoffhaltigen Kohlenstoffverbindungen ebensowohl möglich als bei Kohlenwasserstoffen. Die Kohlenstoffausscheidung in den Flammen, so unerwünscht sie auch in Form von Ruß im allgemeinen ist, muß dennoch sehr häufig als günstiger Umstand angesehen werden, nämlich dann, wenn der eigentliche Zweck des Verbrennens nicht die Wärme- sondern die Lichtentwicklung bildet. Die Leuchtkraft der Flammen beruht gerade auf dem in ihnen ausgeschiedenen feinen Kohlenstaub, der durch die herrschende hohe Temperatur bis zur Glut erhitzt und somit zur Lichtausstrahlung gebracht wird. Jeder leuchtende Flammenpunkt ist ein glühendes Kohlenstoffteilchen. Hat die Flamme genügend Luft zur Nahrung, dann verlassen die glühenden Teilchen sie nicht, sondern verbrennen in einem die Feuerzone umgebenden Saum unsichtbar mit dem von außen her zudringenden Sauerstoff zu Kohlendioxyd. Ist die Luftzufuhr jedoch ungenügend, so fehlt es im Außensaum an Sauerstoff; die Teilchen entweichen durch ihn hindurch unverbrannt und verraten, nachdem sie sich außerhalb abgekühlt haben, durch ihre schwarze Farbe ihre Natur als Kohlenstoff. Sie sind nunmehr als Ruß in Erscheinung getreten. Die Leuchtkraft der Flamme hat nach dieser Erklärung glühende feste Teilchen zum Ursprung und verschwindet, wenn wir, wie wir dies beim Leuchtgas machen können, durch den Brenner so viel Luft einströmen lassen, daß bereits im Flammeninnern völlige Oxydation eintritt. Kohlenstoffteilchen, die sich aus den im Leuchtgas vorhandenen Kohlenwasserstoffen hätten bilden können, scheiden sich jetzt nicht mehr aus, und die Flamme brennt nun nicht mehr leuchtend sondern mit schwacher blauer Farbe. Einhängen eines festen Körpers, der sich in ihr bis zur strahlenden Glut erhitzt, Einhängen etwa eines Auerstrumpfes, macht sie wieder zur Spenderin von Licht.

Abb. 108.

Verlassen wir die Flamme und gehen zu Oxydationen ohne Verbrennungserscheinungen über, so begegnet uns ein ausgiebiges Feld zu Betrachtungen auch wieder auf dem Gebiete der Kohlenstoffverbindungen. Wie die Unterhaltung des Feuers, so hat auch die des Lebens Vorhandensein oxydierbarer Stoffe zur Voraussetzung. Mensch und Tier müssen Nahrung aufnehmen, und die Nahrungsmittel sind hauptsächlich Kohlenstoffverbindungen. Nahrungsmittel, wie die Kohlehydrate und Fette, oxydieren sich im lebenden Organismus bis zu Kohlendioxyd und Wasser, und der Oxydationsvorgang liefert die zum Fortbestand der normalen Körpertemperatur nötige Wärme. Der erforderliche Sauerstoff wird als Luft in den Lungen eingeatmet, dort vom Blut aufgenommen und mit dem Kreislauf des Blutes von diesem den Organen zugeführt, wo die Oxydation stattfindet. Das entstandene Kohlendioxyd gelangt, gleichfalls unter Mithilfe des Blutes, in die Lungen, von wo es dann ausgeatmet wird. Diese Umwandlung von Nahrungs-

mitteln in lebenden Wesen ist ein anschauliches Beispiel einer langsamen, ohne Feuer sich vollziehenden Oxydation.

Ob eine chemische Verbindung sich vollständig oxydiert, d. h. Sauerstoff bis zur Bildung der Oxyde der sie zusammensetzenden Elemente aufnimmt, oder ob der Vorgang auf einer Zwischenstufe stehen bleibt, hängt ab von den Bedingungen, unter welchen die Oxydation sich vollzieht. Wir können Kohlenstoffverbindungen, etwa Alkohol, restlos zu Kohlendioxyd und Wasser oxydieren, wenn wir sie verbrennen; wir können aber zu anderen Produkten gelangen, wenn wir ein weniger radikales Verfahren anwenden. Das Sauerwerden geistiger Getränke beruht auf einer solchen gemäßigt durchgeführten Oxydation. Unter Aufnahme von Luftsauerstoff verwandelt sich der in diesen Flüssigkeiten enthaltene Alkohol C_2H_6O in Essigsäure $C_2H_4O_2$, entsprechend der Gleichung:

$$C_2H_6O + O_2 = C_2H_4O_2 + H_2O\,.$$

Der Luftsauerstoff hat hier nur einen Teil des Wasserstoffgehalts oxydiert und als Wasser abgetrennt; der andere Teil ist in die unter Sauerstoffaufnahme entstandene neue Kohlenstoffverbindung mit übernommen. Auf dem Wege zur vollständigen Oxydation das Alkohols bildet also die Essigsäure eine Zwischenstufe, und solche Zwischenstufen gibt es noch mehrere.

D. Reduktion.

Zur Herbeiführung von Oxydationen sind wir keineswegs auf die Anwendung allein nur von freiem, im Elementzustand befindlichem Sauerstoff angewiesen. Sauerstoffverbindungen vermögen denselben Dienst zu leisten, wofern sie imstande sind, ihren Sauerstoffgehalt teilweise oder ganz auf die zu oxydierende Substanz zu übertragen. Wir nennen jeden Stoff, der oxydierende Wirkung auszuüben vermag, ein Oxydationsmittel und haben daher sowohl im freien Sauerstoff als auch in einer großen Anzahl von Sauerstoffverbindungen Oxydationsmittel zu erblicken.

Die einfachsten Sauerstoffverbindungen sind die Oxyde, und unter diesen finden sich viele, die Oxydationswirkungen entfalten können. Schwarzes, körniges Kupferoxyd oxydiert darüber geleiteten Wasserstoff in der Hitze zu Wasser. Indem gemäß der Gleichung:

$$CuO + H_2 = H_2O + Cu$$

der Sauerstoff seinen Genossen wechselt, vertauscht dieser den Zustand. War vorher der Wasserstoff, so ist nachher das Kupfer im Zustand des freien Elements vorhanden. Um dieses nachzuweisen, bedienen wir uns einer wagrecht gelegten Röhre aus schwer schmelzbarem Glas, in die wir das Kupferoxyd verbringen, und durch welches wir Wasserstoffgas strömen lassen. Beim Beheizen der Röhre sehen wir in dem Maße, als der Vorgang fortschreitet, das Schwarz des Kupferoxyds verschwinden und das Rot des Kupfers zum Vorschein kommen. Wägen wir die Röhre vorher und nachher, so zeigt sich, daß sie um den Betrag des Sauerstoffs, der im Wasserdampf chemisch gebunden aus ihr entweicht, leichter geworden ist.

Richten wir unser Augenmerk auf die Veränderung des Wasserstoffs, so erscheint der beschriebene Vorgang einfach als eine Oxydation. Richten wir dagegen

unser Augenmerk auf die Veränderung des Kupferoxyds, so bietet der Vorgang ein Bild dar, das genau das Gegenteil einer Oxydation ist: Eine Substanz hat Sauerstoff verloren. Ein Oxyd hat eine Zurückführung in das Element, hat eine Reduktion erfahren.

Diese Bezeichnung Reduktion ist allgemein gebräuchlich geworden und für sämtliche Sauerstoffabtrennungen, gleichgültig ob dabei eine Verwandlung in das Element zurück oder in ein niedereres Oxyd oder sonst in eine Verbindung stattfindet. Alle diese Substanzen, welche sich zum Abtrennen und Entziehen von Sauerstoff eignen, werden Reduktionsmittel genannt. In der besprochenen Reduktion von Kupferoxyd zu Kupfer spielt daher der Wasserstoff die Rolle des Reduktionsmittels. Er ist dazu befähigt, weil er sich oxydieren kann, und mit dieser Tatsache verstehen wir die Regel, daß Reduktionsmittel wirken, indem sie sich oxydieren.

Der Wasserstoff ist eines der wichtigsten Reduktionsmittel und vermag ebenso wie das Kupferoxyd auch beispielsweise die Oxyde des Eisens in das Metall zurückzuverwandeln. Ein anderes, in der Technik in größtem Maßstabe Anwendung findendes Reduktionsmittel ist der Kohlenstoff, der in der Glühhitze ihm zugemischten oxydischen Erzen den Sauerstoff entreißt und, mit diesem sich verbindend, in gasförmig entweichendes Kohlenoxyd oder Kohlendioxyd übergeht. Bei der Verhüttung der Eisenerze gelangt der Kohlenstoff in Form von Koks zur Verwendung und dient gleichzeitig zur Reduktion und zur Hitzeerzeugung. Dies wird in den Hochöfen dadurch erreicht, daß man in das im wesentlichen aus Erz und Koks bestehende Gemenge von unten her Luft einbläst, natürlich so bemessen, daß der Kohlenstoff nicht vollständig verbrennt und noch Gelegenheit zur Reduktionswirkung hat.

Reduktionsmittel sind nicht nur unter den Elementen, sondern auch unter den chemischen Verbindungen zu suchen, sogar unter den Oxyden, obwohl diese schon von vorneherein Sauerstoff enthalten. Die Wirksamkeit eines mit Reduktionsvermögen ausgestatteten Oxydes beruht auf dessen Fähigkeit, in ein anderes sauerstoffreicheres überzugehen, also auf der Möglichkeit eines Oxydes höherer Stufe. Ein Reduktionsmittel dieser Art ist das Schwefeldioxyd SO_2, das sich dabei auf die Stufe des Trioxyds SO_3 oxydiert. Schlemmen wir feingemahlenen Braunstein in Wasser auf und leiten in diese Mischung das gasförmige Schwefeldioxyd ein, so löst sich der schwarze Braunsteinstaub unter Entfärbung um so vollkommener auf, je reiner das Mineral war. Das Schwefeldioxyd entzieht dem Braunstein, der ein Oxyd des Mangans von der Zusammensetzung MnO_2 ist, die Hälfte des Sauerstoffs. Daß das so entstehende niedere Oxyd des Mangans, das Manganoxydul MnO, und das sich bildende Schwefeltrioxyd SO_3 nicht als solche auftreten, sondern miteinander verbunden nur als eine einzige Substanz, als Manganosulfat $MnSO_4$, sich vorfinden, hat mit dem Verlauf der Reduktion selbst nichts zu tun.

Nehmen wir anstatt Braunstein eine noch sauerstoffreichere Verbindung des Mangans, das wohlbekannte Kaliumpermanganat $KMnO_4$, so haben wir die Reduktionswirkung des Schwefeldioxyds noch charakteristischer. Das Kaliumpermanganat, das in festem Zustand metallisch glänzende, fast schwarze Kriställchen darstellt und sich in Wasser mit intensiver roter Farbe auflöst, birgt als leicht reduzier-

bares hohes Oxyd das Manganheptoxyd Mn_2O_7 in sich, wie durch die Zerlegung der verdoppelten Formel $KMnO_4$ in K_2O und Mn_2O_7 ohne weiteres verständlich wird. Die rote Lösungsfarbe, so kräftig sie ist, bleicht leicht und schnell aus, sobald Schwefeldioxyd in die Flüssigkeit eingeleitet wird. Reduktion ist eingetreten und das Manganheptoxyd Mn_2O_7 auf das Oxydul MnO abgebaut worden. Der von einer so auffälligen Farbvernichtung begleitete Vorgang vollzieht sich nach der Gleichung:

$$2\,KMnO_4 + 5\,SO_2 + 2\,H_2O = 2\,MnSO_4 + K_2SO_4 + 2\,H_2SO_4$$

welche zeigt, daß 2 Moleküle des Permanganats nicht weniger als 5 Moleküle Schwefeldioxyd nötig haben, um bis zum Manganosulfat reduziert zu werden. So viel Schwefeldioxyd tritt in Wirkung, daß das sich daraus bildende Schwefeltrioxyd nicht mehr genügend Manganoxydul zur Vereinigung antrifft und daher auch an Kaliumoxyd K_2O und an Wasser H_2O gebunden als Kaliumsulfat K_2SO_4 und Schwefelsäure H_2SO_4 erscheint. Den Ausbleichvorgang selbst können wir natürlich wieder in zweierlei Richtungen auslegen, je nachdem wir das Schwergewicht auf die der Reduktion oder auf die der Oxydation unterliegende Substanz legen. Entweder sagen wir, das Schwefeldioxyd ist ein Reduktionsmittel, welches das Permanganat reduziert, oder deuten wir die Sachlage so, daß nun das Permanganat in den Vordergrund rückt, das dann als ein Oxydationsmittel anzusehen ist, welches das Schwefeldioxyd oxydiert. Beide Auffassungen sind nebeneinander berechtigt, und tatsächlich wirkt auf viele andere reduzierbare Substanzen das Schwefeldioxyd als Reduktionsmittel und auf viele oxydierbare das Kaliumpermanganat als Oxydationsmittel.

Die reduzierenden Eigenschaften des Schwefeldioxyds äußern sich vorwiegend in Anwesenheit von Wasser, und dies hat seine Ursache darin, daß sich beide zu einer sehr wirksamen chemischen Verbindung vereinen können. Wird Schwefeldioxyd, so wie es als gasförmiges Verbrennungsprodukt des Schwefels entsteht, in Wasser eingeleitet, so löst es sich darin auf, und die farblos und durchsichtig bleibende Flüssigkeit enthält nun eine Säure, die man als *schweflige Säure* bezeichnet. Das Schwefeldioxyd hat sich mit einem Teil des Wassers zu einem Stoff von der Formel H_2SO_3 verbunden, und diese schweflige Säure entfaltet Reduktionswirkungen, indem sie sich zu Schwefelsäure oxydiert:

$$H_2SO_3 + O = H_2SO_4\,.$$

Schon in Berührung mit Luft, wenn auch nur träge, vollzieht sich diese Umwandlung. Rasch erfolgt sie, wenn leicht reduzierbare Substanzen, wie wir sie in den genannten Manganverbindungen kennen gelernt haben, ihren Sauerstoffgehalt zur Verfügung stellen. Diese vertieftere Auslegung des Reduktionsvorganges läuft in Wirklichkeit auf genau dasselbe hinaus wie die oben gegebene, nur daß sie noch der Mitwirkung des Wassers Rechnung trägt.

Die Auffassung, daß Reduktionsmittel wirken, indem sie sich oxydieren, ist eine meistens gültige Regel, die beinahe selbstverständlich erscheint, aber dennoch hinfällig werden kann. Sie wird durchbrochen vom *Wasserstoffperoxyd*, das sich bald als Oxydations-, bald als Reduktionsmittel verhält. Das Wasserstoffperoxyd ist eine dicke farblose Flüssigkeit, die außerordentlich zu Explosionen neigt

und daher nur mit Wasser vermischt in gelöstem Zustand zum Gebrauch gelangt. Unter dem Namen Perhydrol kommen 30%ige Lösungen in den Handel, die immer noch die große Zersetzlichkeit verraten. Die Unbeständigkeit des Wasserstoffperoxyds ist durch seine chemische Natur begründet, denn entsprechend der Formel H_2O_2 ist im Vergleich zum Wasser in ihm übermäßig viel Sauerstoff gewaltsam aufgespeichert, der sich seiner Fesseln zu entledigen sucht und auch die Oxydationswirkungen hervorruft. Schon beim bloßen Aufbewahren zerfallen allmählich die Wasserstoffperoxydlösungen; es entweicht aus ihnen dauernd Sauerstoff, und schließlich ist alles in Wasser übergegangen.

Gegen oxydierbare Substanzen benimmt sich das Wasserstoffperoxyd als regelrechtes Oxydationsmittel und vermag unter anderem auch die schweflige Säure zu Schwefelsäure zu oxydieren. Die Gleichung:

$$H_2SO_3 + H_2O_2 = H_2SO_4 + H_2O$$

lehrt, daß es sein Übermaß an Sauerstoff an die oxydierbare Substanz abgibt und sich dabei zu Wasser reduziert. Ebenso verhält es sich überall, wo es als Oxydationsmittel wirkt. In ganz anderer Weise spielen sich die Vorgänge ab, wo das Wasserstoffperoxyd sich als Reduktionsmittel betätigt. Kaliumpermanganat, das doch ebenfalls wie es selbst ein kräftiges Oxydationsmittel ist, und daher von ihm eigentlich gar nicht angegriffen werden sollte, wird von ihm völlig zersetzt. Lassen wir zu der roten Permanganatlösung, nachdem wir ihr etwas Schwefelsäure beigemischt haben, Perhydrol zuträufeln, so braust die Flüssigkeit auf, entfärbt sich und enthält nun die gleichen Substanzen, wie wenn wir sie mit schwefliger Säure reduziert hätten. Der Vorgang ist ausgedrückt durch:

$$2\,KMnO_4 + 3\,H_2SO_4 + 5\,H_2O_2 = 2\,MnSO_4 + K_2SO_4 + 8\,H_2O + 5\,O_2$$

und das Aufbrausen der Flüssigkeit verrät, was für ihn charakteristisch ist: eine Gasentwicklung. Permanganat und Peroxyd stoßen, wenn sie zusammentreffen. beide ihren übermäßigen Gehalt an Sauerstoff ab, der nun gasförmig entweicht, Nicht wie sonst wird Sauerstoff von einer auf eine andere Substanz übertragen, sondern beiden entstammend, verläßt er den Schauplatz des chemischen Geschehens. Das Reduktionsmittel wirkt hier also nicht dadurch, daß es sich oxydiert sondern dadurch, daß es sich unter Abspaltung von Sauerstoffgas reduziert.

Solche Fälle bilden aber nicht die Regel. Im allgemeinen oxydiert sich das Reduktionsmittel, wenn es in Funktion tritt, und dies gilt selbst auch dann, wenn das Objekt der Reduktion überhaupt kein Oxyd ist. Zur Veranschaulichung sei das Verhalten der schwefligen Säure gegen Jod angeführt. Das Jod gehört als chemisches Element sicher nicht zu den Oxyden und hat dennoch Oxydation zu Schwefelsäure im Gefolge. Es bildet stahlgraue schuppenförmige Kristalle, die beim Überschütten mit Wasser dieses gelb färbend sich teilweise darin auflösen. Wird Schwefeldioxyd eingeleitet, so verschwinden gelbe Farbe und Kristalle, und die farblos gewordene Flüssigkeit enthält nun Schwefelsäure. Das Jod ist eine chemische Verbindung eingegangen und jetzt als Jodwasserstoff HJ vorhanden, dessen Entstehen nur so erklärbar ist, daß das beigegebene Wasser nicht unbeteiligt bleibt und seinen einen Bestandteil, den Sauerstoff, auf die schweflige Säure, und seinen anderen Bestandteil, den Wasserstoff, auf das Jod überträgt:

$$J_2 + H_2O + H_2SO_3 = 2HJ + H_2SO_4.$$

Wir haben eine Reduktion vor uns und sagen, das Jod ist durch die schweflige Säure zu Jodwasserstoff reduziert worden.

Das Jod hat sich hierbei als Oxydationsmittel betätigt, und wir erkennen hieraus, daß auch sauerstofffreie Substanzen zu Oxydationen dienstbar gemacht werden können. Auch aus ihnen entstehen dabei Reduktionsprodukte, und daß der Jodwasserstoff tatsächlich die Eigenschaft eines solchen besitzt, läßt sich einfach dadurch erweisen, daß er leicht zu Jod zurückoxydierbar ist. Eine Jodwasserstofflösung färbt sich auf Zusatz von Wasserstoffperoxyd wieder gelb und scheidet wieder das Jod aus:

$$2HJ + H_2O_2 = J_2 + 2H_2O.$$

Der Oxydationsvorgang hat hier nur den Wasserstoffgehalt des Jodwasserstoffs betroffen, sich also nur dahin ausgewirkt, daß der Wasserstoff sich vom Jod abtrennt; das Peroxyd hat ihn in Wasser verwandelt. Schon die bloße Abtrennung von Wasserstoff, unabhängig davon, durch welche Mittel und auf welchem Wege sie erfolgt, muß als eine Oxydation angesehen werden.

Betrachtungen ähnlicher Art lassen sich an Hand vieler anderer Beispiele anstellen und führen zu folgenden Verallgemeinerungen: Eine Oxydation ist eine Aufnahme von Sauerstoff oder eine Wegnahme von Wasserstoff. Eine Reduktion ist eine Wegnahme von Sauerstoff oder eine Aufnahme von Wasserstoff.

E. Chloride.

Das durch tägliche Erfahrung gewohnte und vertraute Bild der Verbrennungserscheinungen erhält seinen Charakter durch das Vorhandensein und die chemische Natur der den ganzen Erdball umspülenden atmosphärischen Luft. Diese Erkenntnis regt die Frage an, ob auch ohne Luft und dafür in einem anderen Gas Erscheinungen ähnlicher Art möglich sind. Solches ist in der Tat der Fall, und so können Magnesium, Phosphor und Kohle auch in Stickoxydgas sogar unter glänzender Lichtausstrahlung verbrennen. Das Stickoxyd ist eine farblose gasförmige chemische Verbindung des Stickstoffs von der Formel NO, und sein Sauerstoffgehalt, den es in der Hitze leicht abgibt, macht die Möglichkeit der Verbrennung ohne weiteres verständlich. Während sich hier der Vorgang in Wirklichkeit immer noch als eine Oxydation darbietet, ist bei Verbrennungen in Chlorgas eine Deutung der auftretenden Produkte als Oxyde völlig ausgeschlossen, denn das Chlor ist ein chemisches Element und daher überhaupt kein Sauerstoff in irgendeiner Form anwesend.

Das Chlor ist ein gelbgrünes Gas von erstickendem Geruch, das beim Einatmen in geringerer Menge Husten und Beklemmung hervorruft und in größerer zu Blutspeien und auch zum Tode führen kann. Im freien Zustande kommt es in der Natur nirgends vor, dagegen um so häufiger an andere Elemente gekettet, hauptsächlich als Steinsalz mit Natrium verbunden. Das Steinsalz ist das vom Mineralreich ausgiebig dargebotene Ausgangsmaterial für die Abscheidung und Gewinnung

des Elements, das im Jahre 1774 von Scheele entdeckt wurde. Dieser scharfsinnige Beobachter ließ die aus Steinsalz bereitbare Salzsäure auf Braunstein einwirken und erhielt dabei ein Gas, das er im Sinne der damaligen Lehre als dephlogistierte Salzsäure auffaßte. Berthollet, der die Salzsäure wegen ihrer Säurenatur als eine Sauerstoffverbindung eines hypothetischen Grundstoffs ansprach, sah in dem Gas ein Oxyd höherer Stufe. Die Unhaltbarkeit dieser Ansicht wurde im Jahre 1810 von Davy erwiesen, der das Gas als ein in Freiheit gesetztes Element erkannte und ihm nach dem griechischen Wort für gelbgrün den Namen Chlor beilegte.

Die Salzsäure ist die Wasserstoffverbindung des Chlors und die Abscheidung des letzteren einfach eine Oxydation, bei welcher sich der Braunstein als Oxydationsmittel betätigt. Auch sonstige Oxydationsmittel sind brauchbar; doch stellt man heute in der Technik das Chlor auf anderem Wege dar, nämlich aus einer Steinsalzlösung mit Hilfe der elektrischen Energie. Man leitet durch eine Sole, die natürlichen Ursprungs oder durch Auflösen von Salz in Wasser bereitet ist, den elektrischen Strom, der dann an seiner Eintrittsstelle das Gas entbindet. Da das Chlor durch Druck sich leicht verflüssigen läßt und in ganz trockenem Zustand Eisen nicht angreift, so kommt es, in stählerne zylindrische Flaschen eingepreßt, als Flüssigkeit in den Handel. Für technische Verwendungen und für Versuchszwecke ist es am praktischsten, sich dieser Flaschen, aus denen beim Öffnen des Ventils das Chlor wieder gasförmig ausströmt, zu bedienen.

Das Chlorgas ist $2^1/_2$mal schwerer als der gleiche Raumteil Luft. Es sinkt daher in der Luft unter, und wenn es in gläserne Behälter eingeleitet wird, sehen wir an dem Emporsteigen der gelbgrünen Farbe, wie es zunächst am Boden sich ansammelt und die Luft verdrängend allmählich das ganze Gefäß anfüllt. Der durch das Gefäß abgegrenzte gelbgrüne Raum stellt eine Chloratmosphäre dar, in welcher wir Verbrennungen vor sich gehen lassen können. Wie ausgezeichnet manche Elemente in einer solchen Atmosphäre verbrennen, zeigt sich am Antimon, einem silberweißen Metall, das sehr spröde und daher leicht zu Körnchen zerstoßbar ist. Wird das zerstoßene Metall in das Chlorgas hereingeschüttelt, so entzünden sich die Körnchen von selbst und brennen mit hellem Feuer.

Die Verbrennungsvorgänge in Luft und in Chlor stehen nicht in vollkommener Parallele zueinander, und die Leichtigkeit des Feuerfangens ist in den beiden Atmosphären ganz verschieden. Das Antimon entzündet sich an der Luft viel schwieriger und bedarf dazu vorher einer sehr hohen Erhitzung. Umgekehrt ist die Sachlage bei der Kohle, welche wohl in Luft, aber in Chlor überhaupt nicht verbrennt. Der Phosphor hingegen verbrennt auch in Chlor sehr leicht, und wenn über ihn in einem Gefäß das Chlorgas geleitet wird, so bricht eine fahle, bläulichgrüne Flamme hervor.

Die Verbrennungsprodukte sind chemische Verbindungen des Chlors mit dem betreffenden Element und werden Chloride genannt. Ein Element kann mehrere Chloride bilden, und so entsteht aus dem Phosphor je nach dem Überschuß an Chlor entweder eine wasserhelle Flüssigkeit, das Phosphortrichlorid PCl_3, oder eine gelblichweiße Kristallmasse, das Phosphorpentachlorid PCl_5. Auch noch durch nachträgliche Behandlung mit Chlor läßt sich das niederere Chlorid in das höhere überführen, so daß in eine Chloratmosphäre verbrachtes Trichlorid allmählich zum Pentachlorid

erstarrt. Beides sind höchst unangenehme, die Augen stark zu Tränen reizende Substanzen, die sich heftig mit Wasser umsetzen und unter Veränderung sich darin auflösen. Dies ist aber keineswegs eine allgemeine Eigenschaft der Chloride, und eines der wichtigsten von ihnen, das Natriumchlorid NaCl, ist ein harmloser, für die menschliche Nahrung sogar notwendiger Stoff. Das Steinsalz ist die in der Natur vorkommende, rohe Form des Natriumchlorids und das Kochsalz dieselbe Verbindung in gereinigtem Zustande. Durch die mit leuchtender Flamme stattfindende Verbrennung von zuvor angewärmtem Natriummetall in Chlor bildet sich ein Chlorid, das als weißer Rauch aufsteigt und sich schon durch den Geschmack als Salz zu erkennen gibt.

Von fundamentaler Bedeutung ist das Verhalten des Chlors zum Wasserstoff. Die Mischung beider Gase ist ein Knallgas, das weit gefährlicher ist als das gewöhnliche, weil es nicht nur durch Flammen sondern schon durch eingestrahltes Licht explodiert. Wird ein durchsichtiges Kölbchen im Dunkeln mit Chlorknallgas gefüllt und hiernach ins Sonnenlicht gestellt, so fliegt es fast augenblicklich unter lautem Knall in Trümmer auseinander. Wirksam sind die blauen, violetten und ultravioletten Strahlen des Sonnenlichts, und jede andere Lichtquelle, welche diese Strahlen reichlich genug aussendet, kann zur Herbeiführung der Explosion benützt werden. So eignet sich hierzu auch das grelle glänzende Licht von brennendem Magnesiumband, das also, ohne mit dem Knallgas irgendwie in Berührung zu kommen, von der Ferne her und durch die Gefäßwand hindurch seine zündende Wirkung ausübt. Durch diese Fähigkeit, stoffliche Umwandlungen auszulösen, offenbart sich das Licht als mächtiger Faktor. Dessen Ergründung ist Ziel und Inhalt der Photochemie.

Durch die Explosion des Chlorknallgases entsteht das Chlorid des Wasserstoffs, ein als Chlorwasserstoff bezeichnetes, farbloses Gas von der einfachen Zusammensetzung HCl. Auf 1 Liter Wasserstoff ist 1 Liter Chlorgas erforderlich und bilden sich 2 Liter Chlorwasserstoff. Aus dieser theoretisch wichtigen Tatsache entspringt die Formel Cl_2 für das Chlorgas und die nachstehende Gleichung für die Reaktion.

$$H_2 + Cl_2 = 2\,HCl\,.$$

Der Chlorwasserstoff riecht stechend, bildet an feuchter Luft starke Nebel und löst sich in Wasser begierig auf. 1 Raumteil Wasser genügt, um bei Zimmertemperatur nicht weniger als 450 Raumteile des Gases aufzunehmen, und beim Abkühlen des Wassers wird sogar noch bedeutend mehr verschluckt. Diese Auflösungen besitzen im höchsten Maße die Eigenschaften einer Säure; sie sind nichts anderes als die wohlbekannte Salzsäure. Die Neigung des Chlors, sich mit Wasserstoff zu verbinden, ist außerordentlich groß und erstreckt sich sogar auf solchen Wasserstoff, der bereits mit anderen Elementen eine chemische Vereinigung eingegangen ist, also nicht mehr frei zur Verfügung steht. Terpentinöl ist eine Verbindung des Wasserstoffs mit Kohlenstoff. Wird ein mit Terpentinöl getränkter Papierstreifen in eine Chloratmosphäre gesenkt, so bricht es in Flammen aus, und unter Ausstoßen dicker Rauchwolken entsteht Chlorwasserstoff. Das Chlor hat den Wasserstoff des Öls an sich gerissen und den Kohlenstoffgehalt einfach übrig gelassen.

Selbst im Wasser, wo der Wasserstoff sich sehr innig verbunden hat, ist er vor dem Angriff des Chlors nicht geborgen. Leitet man Chlorgas in Wasser ein, so löst

es sich darin auf, und die Flüssigkeit, das sogenannte Chlorwasser, nimmt die gelblichgrüne Farbe und den durchdringenden Geruch des Gases an. Dieses Chlorwasser hält sich, wenn es im Licht steht, nicht lange. Es verliert die Farbe und wandelt sich unter Entbindung von Sauerstoffgas in Salzsäure um:

$$2H_2O + 2Cl_2 = 4HCl + O_2 .$$

Um diesen photochemischen Vorgang zu unterdrücken, muß man die wirksamen blauen und violetten Strahlen fernhalten und bewahrt daher das Chlorwasser in Flaschen aus braunem, diese Strahlen verschluckendem Glas auf.

Die Umsetzbarkeit von Chlor mit Wasser schafft die Möglichkeit von Oxydationswirkungen. Das Chlor wird zu einem Oxydationsmittel, indem es dem Wasser den Wasserstoffgehalt entzieht und dessen Sauerstoffgehalt für Oxydationszwecke freigibt. Dadurch, daß das Chlor oxydierend wirken kann, vermag es auch viele Farbstoffe zu zerstören und daher als Bleichmittel gute Dienste zu leisten.

Die Chloride sind Vertreter einer Klasse von chemischen Verbindungen, die man unter der allgemeinen Bezeichnung Halogenide zusammenfaßt. Ein Halogenid ist eine Verbindung eines Halogens, d. h. entweder des Chlors oder eines der Elemente Fluor, Brom und Jod, und so leiten sich z. B. vom Natrium folgende vier Halogenide ab: Natriumfluorid ist Fluornatrium NaF; Natriumchlorid ist Chlornatrium NaCl; Natriumbromid ist Bromnatrium NaBr und Natriumjodid ist Jodnatrium NaJ. Diese vier analog zusammengesetzten salzartigen Substanzen zeigen viele gleichartige Eigenschaften, wie denn überhaupt im chemischen Verhalten der Elemente Fluor, Chlor, Brom und Jod weitgehende Ähnlichkeiten hervortreten, so daß wir in ihnen eine natürliche Familie eng zusammengehöriger Grundstoffe vor uns haben. Ihr Name Halogen, der auf deutsch Salzbildner bedeutet, wurde von Berzelius geschaffen und soll zum Ausdruck bringen, daß sie mit Metallen, etwa gerade mit Natrium, sich unmittelbar zu Verbindungen vereinigen, die Salze sind. Nach der damaligen, um mehr als 100 Jahre zurückliegenden Auffassung fand man es auffällig, daß diese Salze nicht wie etwa der Salpeter oder das Glaubersalz noch ein drittes Element und zwar Sauerstoff enthalten, und hat die nur mit Widerstreben anerkannte Möglichkeit der unmittelbaren Salzbildung darum in der Bezeichnungsweise besonders hervorgehoben.

Die große Ähnlichkeit der vier Halogene tritt an der Zusammensetzung und den Eigenschaften ihrer Verbindungen ausgeprägt zutage, weniger deutlich an den freien Elementen selbst. Das Chlor ist ein gelbgrünes Gas. Das Brom, das 1826 von Balard im Meerwasser entdeckt und nach dem griechischen Wort für Gestank benannt wurde, ist eine dunkelbraunrote Flüssigkeit mit braunen Dämpfen von sehr stark reizendem, die Schleimhäute verätzendem Geruch. Das Jod, das von Courtois 1811 in der Asche von Seetangen aufgefunden und von dem griechischen Wort für veilchenfarbig, der Farbe seines Dampfes, seinen Namen erhielt, bildet grauschwarze, schuppenförmige Kristalle. Es entfaltet bedeutend abgeschwächte aggressive Wirkungen, so daß sogar seine Verwendung in der Medizin möglich wird.

Diese drei Halogene stehen einander näher als dem vierten, dem Fluor, das den reaktionsfähigsten Stoff der ganzen Chemie darstellt und daher auch lange Zeit seiner Abscheidung spottete. Zunächst hatte man mehr aus Analogiegründen auf

die Existenz eines weiteren Halogens geschlossen, und erst im Jahre 1866 gelang seine Abscheidung, die von Moissan auf elektrischem Wege durchgeführt wurde. Das Fluor ist ein schwach gelbgrünes Gas von stechendem Geruch, das schon bei bloßem Zumischen Wasserstoff augenblicklich entzündet und mit blauer, äußerst heißer Flamme zu Fluorwasserstoff HF verbrennt. Sogar das Wasser wird von ihm sofort zersetzt und unter Entbindung des Sauerstoffs, der zum Teil in Form von Ozon entweicht, ebenfalls in Fluorwasserstoff verwandelt. Natrium und viele andere Elemente verbinden sich sofort mit Fluor und verbrennen darin zu Fluoriden. Kohlenstoff erglüht in Fluor und vereinigt sich damit, verhält sich also ganz anders wie gegen die anderen Halogene, welche auf ihn keine Einwirkung ausüben. Die wichtigste der in der Natur vorkommenden Fluorverbindungen ist das Kalziumfluorid CaF_2, das Mineral Flußspat, dessen Namen von seiner Brauchbarkeit als Flußmittel, das das Schmelzen von Erzen erleichtert, herrührt. Auf diese Anwendbarkeit geht auch der Ursprung des Wortes Fluor zurück.

F. Die Salze.

a) Die Säuren.

Das Steinsalz, das die Menschheit schon in ihren frühesten Anfängen kannte und schätzte, ist das Urbild einer großen Anzahl anderer Stoffe. Schon in alten Zeiten wurde über andere ähnliche Mineralien und Produkte berichtet, die man zwar oft verwechselte, aber allmählich doch unter Bemerkung des Gemeinsamen unterscheiden lernte. Man verallgemeinerte das Wort Salz in der lateinischen Übersetzung sal, welche sich in den auch heute noch gebräuchlichen Namen Salpeter und Salmiak erhalten hat. Geber (Abou Moussah Dschafar al Sofi), ein berühmter, im achten Jahrhundert lebender arabischer Arzt und Alchemist von umfassendem Wissen, sah das Gemeinsame der Salze in ihrer Löslichkeit in Wasser und in ihrem eigentümlichen Geschmack. Ein Jahrtausend mußte noch verfließen, bis die zur Klärung erforderlichen Tatsachen nach und nach in das Gesichtsfeld der Erkenntnis rückten und richtig erfaßt werden konnten. Rouelle, der schon Vorgänger in van Helmont und Tachenius hatte, legte 1745 den Begriff fest, streifte von ihm die nebensächlichen Begleiterscheinungen wie Löslichkeit und Geschmack ab und erklärte die Salze als chemische Verbindungen von Säuren mit Basen. Damit war die sichere Unterlage gewonnen, auf welcher dann die heutige elektrochemische Anschauung über Berzelius zu Arrhenius gegründet werden konnte.

Ohne weiteres erhellt hieraus, daß zum Verständnis der Salze Kenntnis der Eigenschaften der Säuren und Basen erste Voraussetzung ist, und aus diesem Grunde wenden wir uns zunächst zu den Säuren. Auch für diese ist, wie noch am Namen zu erkennen, eine Geschmacksempfindung ursprünglich der Leitfaden gewesen. Säuren sind Stoffe, welche sauer schmecken. Die Alten wußten nur von einer einzigen Säure, und diese war der Essig, die Flüssigkeit, in welche Wein übergeht. Der gleiche Geschmack des Zitronensaftes und anderer Fruchtsäfte kam für sie einfach von einem Gehalt an Essig her. Sauer schmeckende Stoffe, die nicht pflanzlicher, sondern mine-

ralischer Herkunft sind, lernte man erst im alchemistischen Zeitalter, das vom 4. bis zum beginnenden 16. Jahrhundert gerechnet wird, kennen und bereiten. Geber lehrte die Herstellung des Scheidewassers, unserer heutigen Salpetersäure und kannte wahrscheinlich auch die Schwefelsäure. Die Gewinnung des Salzgeistes, der Salzsäure, ist von Basilius Valentinus im 15. Jahrhundert angegeben. Die von mystischem Beiwerk umrankten Vorschriften waren noch recht primitiv und zu umständlich für die Bereitung größerer Mengen der infolgedessen noch kostbaren Substanzen. Fortschritte und Vereinfachungen brachte das 16. und 17. Jahrhundert, das iatrochemische Zeitalter, welches seine Aufgabe in der Verquickung von Chemie und Heilkunde sah und dem menschlichen Geist neue Anregungen und Richtungen wies. Libavius (gest. 1616) verbesserte das Verfahren zur Schwefelsäuregewinnung und Glauber (1604—1668) das zur Salzsäurebereitung; der letztere fand dabei das nach ihm benannte Glaubersalz. Die Vorstufen der heutigen technischen Methoden bildeten sich im 18. Jahrhundert, im phlogistischen Zeitalter aus, und um 1740 entstand in England die erste Schwefelsäurefabrik. Die Schwefelsäure ist zu einem der allerwichtigsten chemischen Produkte geworden, das in den größten Ausmaßen hergestellt wird, gleich unentbehrlich für die Wissenschaft wie für die Industrie.

Die Zahl der Säuren ist, da sich von den meisten Elementen solche ableiten, eine überaus große. Die Zugehörigkeit zu einem bestimmten Element wird in der Benennung zum Ausdruck gebracht; die Schwefelsäure leitete sich vom Schwefel und die Phosphorsäure vom Phosphor ab.

In einigen Fällen wird allerdings hiervon abgewichen, und so hat die vom Stickstoff abstammende Salpetersäure ihren Namen vom Salpeter, aus dem sie bereitet wird, wie die Salzsäure ihren Namen vom Salz hat. Leiten sich von einem Element mehrere Säuren ab, so schaltet man für die sauerstoffärmere die Silbe ig ein. Neben der Schwefelsäure H_2SO_4 existiert die schweflige Säure H_2SO_3 und neben der Phosphorsäure H_3PO_4 die phosphorige Säure H_3PO_3. Auch die Präpositionen über und unter werden angewandt; beim Chlor z. B. hat man außer der sauerstoffreien Salzsäure folgende Reihe sauerstoffhaltiger Säuren: Überchlorsäure $HClO_4$, Chlorsäure $HClO_3$, chlorige Säure $HClO_2$ und unterchlorige Säure HClO.

Der saure Geschmack ist nicht das einzige Kennzeichen der Säuren. Aus gewissen Flechten läßt sich ein blauer Farbstoff, Lackmus genannt, darstellen, dessen Farbe gegen Säuren äußerst empfindlich ist und mit diesen sofort nach Rot umschlägt. Man verwendet ihn entweder in wäßriger Lösung als Tinktur oder häufiger in Form damit angefärbter Papierstreifen. Lackmustinktur und Lackmuspapier sind ebenso sichere Mittel zum Nachweis von Säuren wie die menschliche Zunge. Flüssigkeiten, die ein eingetauchtes Lackmuspapier röten, enthalten eine Säure oder, in der Sprache der Chemie ausgedrückt: sie reagieren sauer. Neben dem Lackmus, dessen Anwendung schon alt ist, sind noch andere Farbstoffe teils natürliche wie Kochenille, teils künstliche wie Methylorange, Methylrot und Kongorot im Gebrauch. Man nennt derartige als Reagens auf Säuren geeignete Farbstoffe Indikatoren; die Farben, zwischen denen sie wechseln, sind verschieden, und so schlägt beispielsweise Methylorange durch Säuren von gelb nach rot und Kongorot umgekehrt wie Lackmus von rot nach blau um.

Wie das Verhalten, so zeigt auch die Zusammensetzung der Säuren Gemeinsamkeit. Alle Säuren sind Wasserstoffverbindungen. Dies ist meistens leicht und einfach mit Hilfe bestimmter Metalle, etwa mit Hilfe von Zink zu erweisen, das, indem es von der Säure gelöst wird, den Wasserstoff in Freiheit setzt, der dann als Gas entweicht. Aus Salzsäure und Schwefelsäure wird so sehr schnell der Wasserstoffgehalt entbunden, und darauf beruht ja die beschriebene Methode der Wasserstoffdarstellung. Je nach der Natur der Säure vollzieht sich der Vorgang mit verschiedener Geschwindigkeit. In Essigsäure, d. h. in der wirksamen Substanz des Essigs, erfolgt die Auflösung des Metalls und die Wasserstoffentwicklung bedeutend langsamer, und in manchen Säuren gehen sie überhaupt nur äußerst träge vor sich. Aus diesen gradweisen Unterschieden haben wir das auf Bestehen von Abstufungen des Säurecharakters zu schließen und sprechen daher von der Stärke einer Säure. Unter einer starken Säure verstehen wir eine solche, die rasch und heftig Zink auflöst, und unter einer schwachen eine solche, bei der unter gleichen Versuchsbedingungen dies sehr langsam oder sogar kaum bemerkbar geschieht. Die Stärke einer Säure ist eine ihr innewohnende Eigenschaft, die sich nicht nur gegenüber Zink und anderen Metallen, sondern auch in mannigfaltigen anderen chemischen Vorgängen äußert.

Der Satz, daß Säuren Wasserstoffverbindungen sind, darf nicht umgekehrt werden. So groß auch die Zahl der Säuren ist, sie machen doch nur einen Bruchteil aus der Fülle verschiedenartigster Wasserstoffverbindungen, denn die bloße Tatsache eines Wasserstoffgehalts genügt eben noch nicht, um einer Verbindung den Charakter einer Säure zu verleihen. Petroleum und Benzin bestehen aus Wasserstoffverbindungen des Kohlenstoffs, wie unzweifelhaft allein schon daraus hervorgeht, daß ihre Verbrennung neben Kohlendioxyd zu Wasser führt. Trotz ihres Wasserstoffgehalts besitzen sie keine Eigenschaft, die an eine Säure auch nur entfernt erinnert.

In die Kennzeichnung der Säuren spielt ein scheinbar fremder, in Wirklichkeit aber wesentlicher Faktor herein, und dieser ist das Wasser. Für sich allein zeigt eine Substanz die sauren Eigenschaften noch nicht; sie schlummern noch verborgen in ihr und kommen erst in Gegenwart von Wasser, wenn Auflösung eingetreten ist, zum Vorschein. Der Chlorwasserstoff, der völlig getrocknet weder in gasförmigem noch in zur Flüssigkeit verdichtetem Zustand saure Eigenschaften offenbart, wird erst durch die Auflösung zu Salzsäure, zu einer der stärksten Säuren. Das Wasser hat in besonders hohem Maße die Fähigkeit, die Säurenatur aufzudecken, und wenn wir an seiner Statt eine andere Flüssigkeit nehmen, so bleibt zumeist die Wirkung aus. In Chloroform gelöst, rötet der Chlorwasserstoff Lackmus nicht und entwickelt auch keinen Wasserstoff mit Zink. Die Wichtigkeit des Wassers tritt gleichfalls bei der Schwefelsäure hervor, die in konzentriertem Zustand als Vitriolöl andere Eigenschaften besitzt wie in verdünntem. Der flüssige Zustand allein genügt noch nicht, und um die wahre Säure zu bekommen, müssen wir das Vitriolöl mit Wasser vermischen. Besonders augenfällig ist der Einfluß des Wassers bei festen Substanzen. Weinsäurekristalle können mit Natriumbikarbonat zu einer innigen pulvrigen Mischung zerrieben werden, ohne daß etwas stattfindet. In Wasser eingeworfen, schäumt die Mischung sofort stürmisch auf, und unter Brausen entweicht Kohlendioxyd. Durch die Gegenwart des Wassers ist Lösung eingetreten, und die aufgelöste Wein-

säure hat wie jede andere Säure das Bikarbonat sogleich zersetzt. Die Brausepulver, die als Erfrischungsmittel dienen, sind derartige Mischungen.

Außer den gemeinsamen Eigenschaften besitzen die Säuren selbstverständlich auch individuelle. So ist eine wichtige Eigenschaft der Schwefelsäure, die sie charakteristisch von der Salzsäure und anderen Säuren unterscheidet, ihr Verhalten gegen eine Chlorbarium-Lösung. Versetzt man eine mit Wasser verdünnte Schwefelsäure mit dieser Lösung, die farblos und klar ist wie die Säure selbst, so tritt weiße Trübung und gleich darauf Ausscheidung eines weißen sich allmählich absetzenden Niederschlags ein. Die Entstehung des Niederschlags ist ein so sicheres Merkmal, daß man Schwefelsäure jederzeit daran erkennen kann. Salzsäure liefert mit der Chlorbarium-Lösung keinen Niederschlag, ändert sich damit überhaupt nicht; hingegen gibt sie einen Niederschlag, der ebenfalls weiß ist, wenn ihr Höllensteinlösung zugesetzt wird. Höllensteinlösung hinwieder wirkt auf Schwefelsäure nicht ein. Von diesem individuellen Verhältnissen machen wir bei unseren chemischen analytischen Untersuchungen Gebrauch, indem wir sagen: Chlorbarium ist ein Reagens zum Nachweis der Schwefelsäure und Höllenstein ein solches zum Nachweis der Salzsäure. Für andere Säuren existieren wieder andere Reagenzien.

Die individuellen Eigenschaften wirken nicht selten vereint mit den sauren und ziehen dann eine Sonderstellung der betreffenden Säure nach sich. Wie weit hierdurch der saure Charakter abgebogen werden kann, zeigt sich an der Salpetersäure, die zugleich eine starke Säure und ein kräftiges Oxydationsmittel ist. Infolgedessen verhält sie sich gegen Metalle anders wie die übrigen Säuren. Mit Zink entwickelt sie keinen Wasserstoff, sondern unter stürmischem Schäumen dicke Schwaden von intensiv rotbraunen, giftigen Gasen. Der Wasserstoff wird sofort noch im Entstehungszustand zu Wasser oxydiert, und indem die Salpetersäure dies tut und einen Teil ihres Sauerstoffgehaltes dazu hergibt, zerfällt sie in sauerstoffärmere Substanzen, in die mit brauner Farbe ausgestoßenen gasförmigen Stickoxyde.

Die große Oxydationskraft bedingt die Sonderstellung der Salpetersäure, die noch Metalle auflöst, welche anderen Säuren widerstehen. Die Salpetersäure löst, wieder unter Ausstoßung der braunen Stickoxyde, leicht Kupfer und Silber; dem Gold und Platin dagegen vermag auch sie nichts mehr anzuhaben, und daher wird es mit ihrer Hilfe möglich, bei Metallen, die aus Gold und Silber zugleich bestehen, bei Gold—Silber-Legierungen, diese beiden Edelmetalle von einander zu trennen. Sie löst daraus das Silber und läßt das Gold übrig, und dieser Umstand ist es, der ihr den alchemistischen Namen Scheidewasser eingetragen hat. Um auch das Gold, das edelste der Metalle, den König der Metalle, wie es von den Alchemisten genannt wurde, zu bezwingen und in Lösung zu bringen, muß man die Salpetersäure in konzentriertem Zustand anwenden und ihr noch konzentrierte Salzsäure zufügen, die sich mit ihr zu neuen, die Auflösung befördernden Produkten umsetzt. Diese Mischung von konzentrierter Salpetersäure und Salzsäure führt die durch das Alter geheiligte Bezeichnung Königswasser auch heute noch.

Das Zernagen und Zerfressen von Metallen durch Säuren beruht also nicht immer einzig und allein auf der Säurenatur, und ähnlich ist die Sachlage bei der Einwirkung auf Mineralien und Gesteine. Die Erdrinde mit ihren Gebirgen besteht summarisch gesprochen in der Hauptsache aus Kalkstein und Silikaten. Der Kalkstein,

sei es als solcher, sei es als Marmor oder Kreide, löst sich leicht in Säuren; daß dabei Kohlensäure entsteht, welche in Form von Kohlendioxydgas davonsprudelt, ist bereits bei diesem beschrieben worden. Ganz anders ist die Sachlage bei den Silikaten, die ebensowenig wie ihr Grundmaterial, der Quarz, von Säuren angegriffen werden. Die Silikate sind Verbindungen des Elements Silizium, denen wir in Mineralien wie Feldspat und Glimmer und daher auch in Gesteinen wie Granit und Gneis begegnen. Der Quarz und seine Abarten wie Feuerstein, Kieselerde und Kieselgur sind natürlich vorkommendes mehr oder weniger reines Siliziumdioxyd, das als farbloses Bergkristall oder violetter Amethyst zum Halbedelstein wird. Gegen Säuren sind auch künstliche Silikate wie Glas und Porzellan widerstandsfähig, und eben aus diesem Grund genießen sie für die Herstellung vieler Geräte einen Vorzug. Aus der großen Anzahl von Säuren macht nur eine einzige eine prinzipielle Ausnahme, nämlich die Flußsäure. Sie greift Quarz und alle Silikate mit Leichtigkeit an und kann zum Auflösen derselben dienen. Sie zerfrißt Glas und Porzellan und ist daher zum Glasätzen verwendbar und in Flaschen aus Guttapercha aufzubewahren. Diese außergewöhnliche Angriffskraft hat ihre Quellen in dem Bestreben des Fluors, sich mit dem Silizium zu verbinden, keineswegs aber in der Säurenatur der Flußsäure, denn sie gehört durchaus nicht zu den starken Säuren. Nicht der Säurecharakter, sondern eine individuelle Eigenschaft bestimmt das Verhalten der Flußsäure zu den Silikaten.

b) Die Basen.

In gewissem Sinn das Gegenteil von den Säuren sind die Basen. Für das menschliche Auge wahrnehmbar äußert sich der gegensätzliche Charakter durch die Indikatoren; der Farbumschlag, den die eine Stoffart hervorruft, wird von der anderen wieder rückgängig gemacht. Eine leicht herstellbare und billige Base ist der gelöschte Kalk (vgl. S. 139), dessen wäßrige Auflösung, das Kalkwasser, den Gegensatz sofort offenbart. Lackmuspapier, das durch Salzsäure rot geworden ist, wird beim Eintauchen in Kalkwasser wieder blau. Rötung durch Salzsäure und Bläuung durch Kalk können wir beliebig oft wiederholen.

Der Farbenumschlag des roten Lackmuspapiers nach blau wird als „basische Reaktion" und der in Lösung befindliche Stoff, der ihn verursacht, als Base bezeichnet. Das Wort bedeutete ursprünglich den festen, hitzebeständigen Rückstand, der bei vielen Salzen beim Vertreiben der Säure durch Glühen hinterbleibt und der einseitig als der wichtigere Bestandteil des Salzes und daher als dessen Grundlage oder Basis betrachtet wurde. Mit der Vertiefung in die wahre Natur dieser Rückstände hat sich der Sinn des Wortes verschoben und erweitert, und heute bezeichnet es ohne Bezugnahme auf die Gewinnungsweise Stoffe bestimmter chemischer Eigenschaften.

Wie die Säuren, so erregen auch die Basen eine Geschmacksempfindung, die jedoch ganz anders ist. Sie schmecken laugenhaft, an Seife erinnernd. Die Basen wirken auf die Indikatoren, von welchen noch einige angeführt seien. Gelbes Kurkumapapier färben sie braun und Phenolphthalein, das für sich allein oder in Berührung mit Säuren farblos ist, intensiv fuchsinrot. Der plötzliche und höchst

auffällige Sprung aus der wasserhellen Farblosigkeit nach dem tiefen, satten Rot macht das Phenolphthalein zu einem beliebigen Hilfsmittel für den Nachweis der basischen Reaktion.

Um uns über die charakteristischen Eigenschaften der Basen näher zu unterrichten, wollen wir zwei Hauptvertreter herausgreifen, das Kali und das Natron, die in Form von weißen Stücken, Blöcken oder Stangen als Ätzkali und Ätznatron in den Handel kommen. Beides sind ätzende Substanzen, die sich unter Selbsterwärmung leicht und reichlich in Wasser lösen und nun damit eine Lauge, die Kalilauge und die Natronlauge, bilden. Beide greifen Glas und Tongeschirre an und zerstören Haare, Horn und andere tierische Substanzen. Sie fühlen sich schlüpfrig an, weil sie die Haut aufquellen und in eine schleimige Masse verwandeln. Sie wirken auf Fette ein, lösen sie beim Kochen auf und führen sie in Seife über.

Kali und Natron, die einander zum Verwechseln ähnlich sind, vertreten den Typus der stärksten Basen, den Typus des Alkali. Dieser Name, der erstmals in den Schriften Gebers auftaucht, ist aus Kalja entstanden, dem arabischen Wort für die aus Pflanzenaschen mit Wasser ausgezogenen Salze, deren Laugenartigkeit schon im Altertum bekannt war. Man verstand es bereits, sie durch Behandeln mit gelöschtem Kalk zu verschärfen, sie ätzend oder, wie es nach der griechischen Sprache lautet, sie kaustisch zu machen. Die Aschenauszüge sind die milden Alkalien und als solche, wie Black 1756 erkannte, Verbindungen mit Kohlensäure, während die kaustischen Alkalien die Basen selbst sind. Seit den Untersuchungen Duhamels (1700 bis 1781) unterscheidet man zweierlei Alkalien: das vegetabilische Alkali, welches in der Pottasche, dem Aschenauszug der Landpflanzen, enthalten ist, und das mineralische Alkali, welches die Grundlage des Steinsalzes bildet. Die kürzeren, hierfür heute gebräuchlichen Bezeichnungen Kali und Natron wurden von Klaproth 1796 eingeführt. Zu diesen beiden Alkalien sind im Laufe des 19. Jahrhunderts drei weitere hinzugekommen.

Kalilauge und Natronlauge reagieren alkalisch. Diese Ausdrucksweise besagt, daß sie typisch basisch reagieren. Sie geben die Farbenumschläge mit den Indikatoren und die charakteristische Geschmacksempfindung selbst in verdünntem Zustande sehr leicht und unterscheiden sich hierdurch von den schwachen Basen, welche sie schwieriger oder gar nicht zeigen. Eine Base ohne alkalische Reaktion ist die Tonerde, eine nicht zu den Alkalien gehörige weiße Substanz, die, weil in Wasser unlöslich, überhaupt nicht die Möglichkeit zur Reaktion hat. Sie ist ein einfaches Beispiel dafür, daß der Begriff der Base durch die alkalische Reaktion noch nicht völlig erfaßt wird.

Nähere Einblicke in die wahre Natur der Basen verschafft uns die Betrachtung der chemischen Umsetzungsfähigkeit und der chemischen Zusammensetzung. Das, was die Basen tatsächlich charakterisiert, ist ihre Fähigkeit, mit Säuren sich zu Salzen zu verbinden. In Wirklichkeit ist bereits die alkalische Reaktion ein Ausfluß dieser Fähigkeit, denn der Farbenumschlag der Indikatoren beruht auf Salzbildung. Das Phenolphthalein ist eine Säure, die farblos ist, aber rote Salze liefert, und so beweist der Umschlag von farblos nach rot, der mit Alkalien eintritt, auf unmittelbarstem Wege eben gerade das, worauf es uns bei diesen ankommt: Leichtigkeit der Salzbildung. Bei den schwachen Basen ist die Neigung zur Salzbildung abgeschwächt und

infolgedessen die Entstehung von Phenolphthaleinsalzen, d. h. die alkalische Reaktion, erschwert.

Die Fähigkeit zur Salzbildung wurzelt in der Eigenart der chemischen Zusammensetzung, für welche Erkenntnis uns die Alkalien die ersten Belege abgeben. Im Jahre 1807 entdeckte Davy die beiden Metalle Kalium und Natrium, zwei Elemente, die er durch den elektrischen Strom aus den entsprechenden Basen abzuscheiden vermochte. Während bis dahin die Alkalien als Grundstoffe galten, erwiesen sie sich nunmehr als zusammengesetzt und als chemische Verbindungen der neuentdeckten Elemente. Das Natrium, das heute fabrikmäßig gewonnen wird, ist ein silberweißes glänzendes Metall und bereits bei gewöhnlicher Temperatur so weich, daß man es mit dem Messer schneiden und mit den Fingern kneten kann. Es oxydiert sich sehr leicht und überzieht sich daher an feuchter Luft mit einer trüben weißen Kruste, so daß der hohe Metallglanz nur auf ganz frischen Schnittflächen sichtbar ist. Seine Aufbewahrung hat vor Luft geschützt zu erfolgen und geschieht unter Petroleum oder in zugelöteten Blechbüchsen. Es schmilzt bei 97,5° und verbrennt bei stärkerem Erhitzen an der Luft unter hellem Erglühen zum blaßgelben, pulvrigen Natriumperoxyd. Die außerordentlich große Veränderlichkeit und Oxydierbarkeit sind die Kennzeichen der Alkalimetalle, von welchen das Natrium das technisch wichtigste ist. In der Reihe der Metalle, an deren einem Ende die nicht oxydierbaren, nur mit den allerkräftigsten Mitteln angreifbaren Elemente Gold und Platin, d. h. die Edelmetalle stehen, befinden sich die unedlen Alkalimetalle am entgegengesetzten Ende. Das Kalium gleicht dem Natrium, nur daß es noch unedler ist. Das unedelste Alkalimetall ist das Cäsium.

Die Alkalimetalle sind derart unedel, daß sie selbst von Wasser mit größter Leichtigkeit angegriffen werden. Ein Stückchen Natrium auf Wasser geworfen schmilzt sofort zu einer Kugel zusammen, die auf der Flüssigkeit hin und her summend klein und kleiner wird, um bald ganz zu verschwinden. Das Metall löst sich also im Wasser auf, und da dieser Vorgang sich mit einer Entwicklung von Wasserstoffgas verknüpft, das in die umgebende Luft entweichend Knallgas bildet, können dabei durch Selbstentzündung auch Explosionen auftreten. Mit der Feststellung, daß das Natrium von Wasser angegriffen wird und gelöst, erhebt sich sogleich die weitere Frage, was wird aus ihm. Die Lösung reagiert stark alkalisch; sie färbt Phenolphthalein intensiv rot und erweist sich in jeder Hinsicht identisch mit Natronlauge. Der Lösungsvorgang ist eine Oxydation, bei welcher der Sauerstoff, obgleich er darin sehr fest gebunden ist, dem Wasser entstammt. Das Natrium ist dank seines unedlen Charakters ein dermaßen gewaltiges Reduktionsmittel, daß es dem Wasser Sauerstoff entzieht und damit Wasserstoff in Freiheit setzt. Das Ätznatron ist folglich ein Oxydationsprodukt des Natriums; es ist jedoch nicht das Oxyd selbst, sondern eine Verbindung desselben mit Wasser, ein sogenanntes Hydroxyd. Ätznatron ist Natriumhydroxyd NaOH, und seine Bildung ausgedrückt durch die Gleichung:

$$2\,Na + 2\,H_2O = 2\,NaOH + H_2\,.$$

Die Hydroxyde sind Verbindungen, die den Oxyden nahestehen und neben Sauerstoff zugleich Wasserstoff in solchem Verhältnis enthalten, daß die aus zwei Atomen zusammengesetzte Gruppe OH, das Hydroxyl, erscheint. Wie das Ätz-

natron ist auch der gelöschte Kalk ein Hydroxyd; das zum Ablöschen dienende Wasser wird vom gebrannten Kalk, dem Oxyd CaO, aufgenommen und führt ihn in die Base, in das Hydroxyd $Ca(OH)_2$ über. Wir dürfen diese Befunde verallgemeinern und den grundlegenden Satz aussprechen: Die Basen sind Hydroxylverbindungen.

Die Hydroxylverbindungen der Alkalimetalle sind die Alkalien, die alle dem Natriumhydroxyd analog zusammengesetzt sind und auf je 1 Metallatom 1 Hydroxyl enthalten. Der Formel NaOH des Natrons entspricht die des Kalis KOH. Die Hydroxylverbindungen der Erdalkalimetalle, zu welchen das Calcium und das Magnesium gehören, sind die Erdalkalien, die wie der gelöschte Kalk auf je 1 Metallatom 2 Hydroxyle beherbergen. Der Formel $Ca(OH)_2$ des Calciumhydroxyds gleichend ist die des Magnesiumhydroxyds $Mg(OH)_2$, das das Hydrat der Magnesia MgO, d. h. deren Wasserverbindung darstellt. Die Erdalkalimetalle sind nicht mehr so extrem unedel wie die Alkalimetalle, die Erdalkalien aber immer noch starke Basen. Die Hydroxylverbindungen der Erdmetalle, von denen das bekannteste das Aluminium ist, enthalten auf 1 Metallatom 3 Hydroxyle. Die Tonerde Al_2O_3 in wasserhaltiger Form, also ihr Hydrat, ist das Aluminiumhydroxyd $Al(OH)_3$. Das Aluminium hat schon stark im unedlen Charakter nachgelassen; sein Hydroxyd ist nur noch eine schwache Base, die bereits deutliche Anzeichen saurer Eigenschaften verrät. Das Aluminiumhydroxyd vermag sich sowohl mit Säuren wie mit Basen zu Salzen zu verbinden, verhält sich also amphoter, d. h. es ist basisch und sauer zugleich, beides jedoch nur schwach. Außer den aufgezählten Basen existieren noch viele andere, die sich von Metallen ableiten und Hydroxyde derselben sind.

Die Metallhydroxyde sind nicht die einzige Möglichkeit basischer Substanzen. Eine Base, in der keinerlei Metall steckt, leitet sich vom Ammoniak ab, einem farblosen Gas mit dem bekannten beißenden und stechenden Geruch des faulenden Urins. Das Ammoniak ist leicht herstellbar aus Salmiak, einem Salz, in welchem es an Salzsäure gebunden ist, und aus welchem es durch Erhitzen mit gelöschtem Kalk, der sich dann an seiner Stelle mit der Säure verbindet, ausgetrieben wird. Die Bezeichnung Ammoniak hängt mit der des Salmiaks, dem sal ammoniacum, das nach der Oase des Jupiters Ammon benannt ist, zusammen. Das Ammoniak löst sich begierig in Wasser, das große Mengen davon aufzunehmen vermag. 1 Liter Wasser verschluckt bei gewöhnlicher Temperatur bis zu etwa 800 Liter des Gases. Diese Lösungen, die man im Volksmund Salmiakgeist heißt, reagieren stark alkalisch, färben z. B. Phenolphthalein sofort kräftig rot. Das Ammoniak besteht aus Stickstoff und Wasserstoff und hat die Formel NH_3. Es enthält noch kein Hydroxyl und kann also erst dadurch zur Base werden, daß es sich mit dem lösenden Wasser verbindet, mit anderen Worten in ein Hydrat übergeht. Die entstehende Base hat die Zusammensetzung NH_5O oder in Anlehnung an die Metallhydroxyde anders geschrieben NH_4OH. Um die Analogie mit den Metallhydroxyden, die sich nicht nur rein formal sondern auch in zahlreichen Tatsachen kundgibt, voll herauszuheben, setzt man die aus 1 Stickstoffatom und 4 Wasserstoffatomen bestehende Gruppe NH_4 in Parallele zu den Metallen. Man nennt sie Ammonium und dementsprechend die wirksame Base im Salmiakgeist Ammoniumhydroxyd.

Das Ammonium ist ein Radikal, ein zusammengesetztes Gebilde, das gewissermaßen ein künstliches Element darstellt und als geschlossene Einheit sich

chemisch betätigt. Die Verbindungen des Ammoniums zeigen ausgeprägte Ähnlichkeit mit denen der Alkalimetalle; daß es sich aber in Wirklichkeit eben doch nicht um ein tatsächliches Element handelt, beweist die leichte Rückverwandlung des Ammoniums in Ammoniak. Der Salmiakgeist riecht dauernd nach Ammoniak und gibt es beim Erhitzen restlos wieder ab. Die Beständigkeit des Ammoniumhydroxyds ist also nicht groß, und eine genauere Untersuchung lehrt, daß im Salmiakgeist das Ammoniak in der Hauptsache noch als solches und nur zu einem kleinen Bruchteil in Form von Ammoniumhydroxyd sich befindet. Dieser geringe Gehalt an Hydroxyd stempelt den Salmiakgeist zu einer nur schwachen Base, die ganz bedeutend schwächer ist als Natron- oder Kalilauge.

c) Bildung der Salze.

Der Gegensatz, der zwischen Säure und Base besteht, erlischt und gleicht sich aus, wenn beide zusammenkommen. Salzsäure und Natronlauge in ausprobiertem Verhältnis zusammengeschüttet, ergeben eine Flüssigkeit, die mit Indikatoren weder sauer noch alkalisch reagiert und Lackmuspapier überhaupt nicht mehr verändert. Säure und Base haben sich gegenseitig *neutralisiert*. Sowohl die eine wie die andere hat auf ihre Existenz verzichtet, und dafür ist ein neuer, gegen Indikatoren neutraler Stoff entstanden. Die Flüssigkeit, die nun salzig schmeckt, scheidet beim Einkochen den neuen Stoff als weiße Kristallkruste ab. Er ist identisch mit unserem natürlichen Kochsalz, das sich somit als chemische Verbindung der Salzsäure mit Natronlauge entpuppt. Die Bildungsweise des Kochsalzes, das wir bereits als Natriumchlorid NaCl erkannten, vollzieht sich beim Zusammenmischen von Säure und Base nach der Gleichung:

$$NaOH + HCl = NaCl + H_2O\,,$$

welche uns lehrt, daß der Akt der Neutralisation mit der Entstehung von Wasser verquickt ist. Der Hydroxylgehalt der Base und der Wasserstoffgehalt der Säure sind so beschaffen, daß sie sich gerade zu Wasser ergänzen und vereinigen können.

Ganz analog bilden sich auch aus anderen Säuren und Basen Salze, und jedesmal entsteht zugleich auch Wasser. Salpetersäure und Kalilauge liefern auf diese Weise Salpeter KNO_3:

$$KOH + HNO_3 = KNO_3 + H_2O$$

und wir sehen aus solchen Gleichungen auf den ersten Blick, daß überall, wo in der Säure zuvor ein Wasserstoffatom saß, nachher im Salz ein Metallatom sitzt. Eine Säure ins Salz verwandeln, heißt also, ihren Wasserstoffgehalt durch einen Metallgehalt ersetzen. Diese Beziehungen finden ihren Widerhall in der chemischen Nomenklatur. Der Salpeter KNO_3 ist als das salpetersaure Kalium und z. B. der Höllenstein, in dem wir das Silbersalz $AgNO_3$ der Salpetersäure vor uns haben, als das salpetersaure Silber zu bezeichnen. Der Name des Metalles gibt das Hauptwort ab und der der Säure das Eigenschaftswort. Die Salze der Salpetersäure werden zusammenfassend auch *Nitrate* und daher der Salpeter Kaliumnitrat und der Höllenstein Silbernitrat genannt.

Die Sulfate, unter welche sich wohlbekannte Stoffe wie das Glaubersalz, der Gips, die Vitriole und die Alaune einordnen, sind Salze der Schwefelsäure. Das Glaubersalz ist Natriumsulfat oder schwefelsaures Natrium von der Zusammensetzung Na_2SO_4, die anzeigt, daß darin der gesamte Wasserstoffgehalt der Schwefelsäure durch Metall ersetzt ist. Außerdem existiert aber noch ein zweites Natriumsalz der Schwefelsäure, das die Formel $NaHSO_4$ hat, und bei dessen Bildung die Hälfte des Wasserstoffgehalts unersetzt geblieben ist. In diesem Salze ist die Schwefelsäure, wie aus der Gleichung:

$$NaOH + H_2SO_4 = NaHSO_4 + H_2O$$

hervorgeht, nur zur Hälfte neutralisiert, während bei vollständiger Neutralisation, die doppelt soviel Natronlauge erfordert:

$$2\,NaOH + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + 2\,H_2O$$

das Glaubersalz entsteht. Das letztere ist völlig neutral und reagiert auf Indikatoren nicht mehr. Das Salz $NaHSO_4$ dagegen reagiert noch sauer, denn es enthält ja wie irgendeine Säure immer noch Wasserstoff. Es bedarf zu seiner Herstellung auf eine gegebene Menge Natronlauge doppelt soviel Schwefelsäure als das neutrale Salz, und aus diesen Gründen führt es die Namen saures schwefelsaures Natrium und Natriumbisulfat.

Die Möglichkeit zur Bildung von zwei Salzreihen beruht auf dem Vorhandensein von 2 Wasserstoffatomen im Molekül H_2SO_4 und auf der stufenweisen Ersetzbarkeit dieser beiden Atome. Bei der Salzsäure und der Salpetersäure liegen die Verhältnisse einfacher, weil hier in den Molekülen HCl und HNO_3 je nur 1 Wasserstoffatom vorhanden, also ein stufenweiser Ersatz ausgeschlossen und nur eine einzige Salzreihe, nämlich die neutrale, denkbar ist. Bestimmend für die Anzahl der Salzreihen, die eine Säure einzugehen vermag, bleibt stets die Anzahl der Wasserstoffatome, die im Säuremolekül vorhanden und durch Metalle ersetzbar sind. Diese Tatsache bildet den Inhalt der von Liebig begründeten Theorie der mehrbasischen Säuren. Die Salzsäure ist wie die Salpetersäure einbasisch und die Schwefelsäure zweibasisch. Eine Säure ist soviel basisch, als sie im Molekül durch Metall, speziell durch Alkalimetall, vertretbare Wasserstoffatome zählt. Sie braucht zum vollen Ersatz ihres Wasserstoffgehalts ebensoviele Moleküle Natron oder Kali wie sie im eigenen Molekül vertretbare Wasserstoffatome hat.

Die leichte Vertretbarkeit durch Metall ist das Moment, das die Wasserstoffatome der Säuren charakterisiert. Andere Wasserstoffverbindungen, denen wie dem Benzin dieses Moment abgeht, sind gerade deshalb keine Säuren. Zweierlei Arten von Wasserstoffatomen sind demnach denkbar: durch Metall vertretbare und unvertretbare. Die Welt der Wasserstoffverbindungen wird hierdurch in zwei große Klassen von Substanzen geschieden, zwischen denen jedoch Übergänge bestehen, insofern als die Zugehörigkeit zur einen Klasse nicht notwendigerweise die zur anderen ausschließt. Solche Brücken sind die Essigsäure und die anderen organischen Säuren. Die Formel $H_4C_2O_2$ für die Essigsäure könnte die Meinung erwecken, daß es sich um eine vierbasische Säure handle; eine Meinung, die von der unschwer feststellbaren Tatsache, daß mit einem Molekül Essigsäure nur ein einziges Molekül Natronlauge reagiert,

auf das bündigste widerlegt wird. Die Essigsäure ist eine nur einbasische Säure; sie beherbergt nur $^1/_4$ ihres Wasserstoffgehalts nach Art der Säuren und die übrigen $^3/_4$ nach Art des Benzins. Wir können dies durch die Schreibweise $HC_2H_3O_2$ und die Gleichung:

$$NaOH + HC_2H_3O_2 = NaC_2H_3O_2 + H_2O$$

ausdrücken und lassen die Frage nach den wirklichen Unterschieden der Wasserstoffbindungen vorläufig noch offen.

Die Zahl der vertretbaren Wasserstoffatome legt die Zahl der einführbaren Metallatome fest. Während bei der Bildung der Alkalisalze jedes eintretende Atom nur ein einziges ausscheidendes ersetzt, regelt sich bei der der Erdalkalisalze der Ersatz nach einem anderen Verhältnis. Verbindet sich Kalk mit der Schwefelsäure, so gelangen wir zum Gips, zum Calciumsulfat $CaSO_4$,

$$Ca(OH)_2 + H_2SO_4 = CaSO_4 + 2H_2O,$$

in welchem zum Unterschied vom Natriumsulfat nicht zwei Metallatome, sondern nur ein einziges den Platz der beiden Wasserstoffatome der Säure einnimmt. Die Fähigkeit, gleich 2 Wasserstoffatome auf einmal zu vertreten, gehört zur Eigenart des Calciums und wirkt sich gegenüber allen Säuren aus, selbst gegenüber den einbasischen, nur sind bei diesen doppelt soviele Moleküle wie bei den zweibasischen erforderlich. Kalk verbindet sich daher mit Salzsäure nach der Gleichung:

$$Ca(OH)_2 + 2HCl = CaCl_2 + 2H_2O,$$

welche zeigt, daß die für die Bildung der Kalksalze notwendige Zweizahl der Wasserstoffatome bei einbasischen Säuren dadurch erreicht wird, daß für den Ersatz durch ein Calciumatom der Wasserstoffgehalt diesmal von zwei Säuremolekülen dient. In der Vertretung von Wasserstoffatomen leistet in allen Fällen das Kalzium das Doppelte vom Natrium; mit anderen Worten, das Calciumatom ist nicht einem einzigen, sondern zwei Natriumatomen gleichwertig. Eine noch größere Anzahl von Wasserstoffatomen vermögen die Erdmetalle zu vertreten. Die Salzsäure bildet mit der Tonerde das Aluminiumchlorid $AlCl_3$.

$$Al(OH)_3 + 3HCl = AlCl_3 + 3H_2O.$$

Das Aluminiumatom ersetzt, wie aus der vorstehenden Gleichung ablesbar, 3 Wasserstoffatome, und hieraus folgt, daß es 3 Natriumatomen gleichwertig ist.

Solche Wertigkeitsbeziehungen können wir für sämtliche metallischen Elemente ableiten und stoßen damit auf Regelmäßigkeiten von beherrschender Bedeutung. Wir machen den Wasserstoff zur Unterlage der Betrachtungsweise und nennen jedwedes Element, von welchem 1 Atom gerade 1 Atom Wasserstoff zu ersetzen vermag, einwertig. Elemente, deren Atome 2 Atome Wasserstoff ersetzen, sind zweiwertig usw. Wir erklären in diesem Sinne Natrium als einwertig, Calcium als zweiwertig und das Aluminium als dreiwertig. Oder allgemeiner gesprochen, die Alkalimetalle sind einwertig, die Erdalkalimetalle zweiwertig und die Erdmetalle dreiwertig.

Viele Elemente besitzen mehrere Wertigkeiten. Das unedle Schwermetall Eisen bildet mit ein und derselben Säure zwei Salzreihen, die ganz verschieden von-

einander sind, und die dadurch zustande kommen, daß das Metall das eine Mal 2, das andere Mal dagegen 3 Wasserstoffatome vertritt. Die eine Reihe ist leicht und glatt dadurch erhältlich, daß man das Eisen in der Säure auflöst. Das Metall treibt die Wasserstoffatome, an deren Stelle es sich setzt, einfach aus und zwingt sie damit, im Zustand des Wasserstoffgases zu entweichen. Dieser unmittelbarste Ersatz von Wasserstoff durch Metall, der auch der früher beschriebenen Gewinnung von Wasserstoff aus Zink und Salzsäure zugrunde liegt, beweist zugleich, daß, um zu Salzen zu gelangen, uns mehr als nur der eine über die Basen gehende Weg offen steht. Schwefelsäure löst das Eisen zu einer schwach grünlichen Flüssigkeit, die das Eisensulfat $FeSO_4$ enthält und dasselbe beim Stehenlassen in hellgrünen Kristallen als Eisenvitriol absetzt. Fügt man zur grünlichen Flüssigkeit ein Oxydationsmittel, etwa Wasserstoffperoxyd, so bräunt sie sich und birgt nun ein Eisensulfat anderer Natur, das als gelblichweißes Pulver abscheidbar und nach der komplizierteren Formel $Fe_2(SO_4)_3$ aufgebaut ist. Die Basen, von welchen sich die beiden Sulfate ableiten, sind Hydroxyde des Eisens. Das eine gehört zum Eisenoxydul FeO und ist Eisenoxydulhydrat $Fe(OH)_2$; das andere schließt sich ans Eisenoxyd Fe_2O_3 an und ist Eisenoxydhydrat $Fe(OH)_3$. Die erste Salzreihe umfaßt Verbindungen des Oxyduls und die zweite solche des Oxyds, ein Unterschied, den man in der Bezeichnung durch die Vokale o und i oder exakter durch eine die Wertigkeit angebende Bezifferung kenntlich macht. $Fe(SO)_4$ hat demnach folgende Namen: schwefelsaures Eisenoxydul, Ferrosulfat und Eisen(II)-sulfat; für $Fe_2(SO_4)_3$ gelten die Namen: schwefelsaures Eisenoxyd, Ferrisulfat und Eisen(III)-sulfat. Ebenso wie beim Eisen entspricht auch bei anderen Elementen der höheren Wertigkeit eine höhere Oxydationsstufe.

Der Wertigkeitsbegriff hat zunächst nur die Bedeutung einer die Übersicht fördernden Rechenregel; in Wirklichkeit verbergen sich aber hinter ihm wichtige Zusammenhänge, die ihn weit über das Gebiet der reinen Chemie hinaus zu einem allgemeinen Wegweiser machen. Eine erste Erweiterung liegt darin, daß er ebenso wie auf das einzelne Atom auch auf ganze Molekülteile anwendbar ist. Das Radikal Ammonium NH_4, das trotz seiner zusammengesetzten Natur und des Aufbaus aus nicht metallischen Elementen dennoch die Alkalimetalle nachahmt, folgt diesen auch in der Wertigkeit, ist also einwertig. Der Salmiak ist das Chlorid des Ammoniums und mit der Formel NH_4Cl dem Kochsalz ähnlich zusammengefügt, nur daß eben das Wasserstoffatom des Salzsäuremoleküls nicht durch ein Metall, sondern durch ein Radikal ersetzt ist. Die Bildung der Ammoniumsalze kann auf die gewöhnliche Weise aus Base und Säure vorgenommen werden. Salmiak entsteht aus dem im Salmiakgeist enthaltenen Ammoniumhydroxyd durch Umsetzung mit Salzsäure:

$$NH_4OH + HCl = NH_4Cl + H_2O\,.$$

Die Bildung der Ammoniumsalze kann sich aber noch auf einem anderen Weg, der nicht über das Hydroxyd geht, vollziehen. Schon mit Ammoniak NH_3 selbst, dem Hauptbestandteil des Salmiakgeistes, vereinen sich die Säuren zu Salzen. Ammoniak und Salzsäure verbinden sich miteinander sehr leicht, sogar in Abwesenheit von Wasser, und überall, wo sie, beide gasförmig, zusammentreffen, tritt ein dicker

Qualm von in der Luft schwebendem, fein verteiltem Salmiak auf. Da demnach das Ammoniak entsprechend der Gleichung:

$$NH_3 + HCl = NH_4Cl$$

zur Salzbildung fähig ist, wird es in erweitertem Sinne den Basen zugerechnet.

Reden wir von Molekülteilen, so haben wir vor allem den Säureresten die Aufmerksamkeit zuzuwenden. Ein Säurerest ist derjenige Teil des Säuremoleküls, der übrigbleibt, wenn wir uns die vertretbaren Wasserstoffatome wegdenken. Der Säurerest der Schwefelsäure ist folglich das aus 5 Atomen bestehende Gebilde SO_4; er ist es, der sich in allen Sulfaten vorfindet, für sie wesentlich ist und aus der Säure ins Salz übernommen wird. Allgemein gesprochen ist der Säurerest derjenige und der einzige Bestandteil, den Säuren und Salze gemeinsam haben. Ausgehend von ein und derselben Base, sagen wir von Natron NaOH, können wir uns Salze in bunter Fülle dadurch abgeleitet denken, daß das Hydroxyl der Reihe nach durch die verschiedenartigsten Säurereste ersetzt wird. Ersatz durch den Rest NO_3 der Salpetersäure schafft den Salpeter $NaNO_3$, und Ersatz durch ein Chloratom, d. h. den Rest der Salzsäure, erzeugt das Kochsalz NaCl. Betrachten wir das Hydroxyl als einwertig, so erscheinen diese Reste, da sie es vertreten können, gleichfalls als einwertig. Der Schwefelsäurerest SO_4 tritt uns dann als zweiwertig entgegen und bildet das Natriumsulfat Na_2SO_4, in dem er zum Ersetzen von Hydroxyl 2 Moleküle Natron beansprucht. Die ganze Entwicklung des Wertigkeitsbegriffes, die wir für die Metalle gegeben haben, wiederholt sich nun bei den Säureresten, obwohl sie zusammengesetzte Gebilde von total anderem Charakter sind.

Wie das einwertige Wasserstoffatom sich mit dem einwertigen Hydroxyl zu Wasser vereinigt, so paaren sich einwertige Metalle mit einwertigen Säureresten zu Salzen. Das Salz $NaNO_3$ ist der Zusammenschluß des einwertigen Natriums und des einwertigen Salpetersäurerestes. In Fällen mehrwertiger oder ungleichwertiger Partner regelt sich der Zusammenschluß nach Maßgabe der Wertigkeit. Das zweiwertige Calcium ergibt mit dem zweiwertigen Schwefelsäurerest das Salz $CaSO_4$ und mit dem einwertigen Chloratom das Salz $CaCl_2$.

d) Eigenschaften der Salze.

Die Anregung zur alten alchemistischen Vorstellung, daß die Auflösbarkeit in Wasser ein Merkmal der Salze sei, ist darin zu erblicken, daß tatsächlich viele Salze leicht löslich sind. Das Kochsalz, der Salpeter, der Salmiak, das Glaubersalz, das Bittersalz, die Alaune und Vitriole lösen sich alle leicht in Wasser; wollten wir sie aber nur dieser Eigenschaft zuliebe als Salz gelten lassen, so würden wir in eine große Klasse von Stoffen, die in sonstiger Hinsicht einander durchaus wesensverwandt sind, einen auf Nebensächliches begründeten Zwiespalt tragen. Karbonate wie Kalkstein und Dolomit, Sulfate wie Gips und Schwerspat, Silikate wie Glas und Feldspat müßten wir aus der Liste der Salze streichen. Hat heute die Löslichkeit ihre Bedeutung als allgemeines Merkmal verloren, so ist sie immer noch wichtig als besonderes Kennzeichen des einzelnen Salzes und als helfender Faktor beim Herstellen und Reinigen desselben.

Auflösen eines Salzes in Wasser ist ein Vorgang, der sich äußerlich dadurch dokumentiert, daß die Stücke desselben angenagt, kleiner und kleiner werden und schließlich nicht mehr da sind. Wohl ist das betreffende Salz nunmehr dem Auge entrückt; daß es aber immer noch vorhanden ist, bemerken wir sofort am Geschmack der Flüssigkeit. Seine Gegenwart gibt sich überzeugender noch dadurch kund, daß beim Stehenlassen oder Erwärmen der Flüssigkeit das Wasser wegdunstet und jetzt das Salz in seiner vollen körperlichen Wesenheit wieder zum Vorschein kommt. Es wird wieder sichtbar und scheidet sich in Form ihm eigentümlicher Kristalle ab, die um so größer und regelmäßiger sich ausbilden, je ungestörter die Flüssigkeit sich selbst überlassen bleibt. Sehr häufig ist das auskristallisierende Salz ein Hydrat, d. h. es enthält Wasser in chemischer Bindung. Die Kristalle erscheinen völlig klar und trocken und offenbaren ihren Wassergehalt, der unter Umständen mehr als die Hälfte von der Substanz ausmacht, erst beim Erhitzen. Man nennt ihn Kristallwasser. Das Glaubersalz ist ein Natriumsulfat mit rund 56% Kristallwasser und setzt sich nach der Formel $Na_2SO_4,10\,H_2O$ zusammen. Diese 10 Moleküle Wasser sind sehr locker an das eigentliche Natriumsulfat gebunden, und schon Erhitzen auf 33° genügt, um sie zu befreien und sie in flüssigem Zustande abzuspalten. Das Salz scheint hierbei zu schmelzen; in Wirklichkeit bildet sich aber eine aus Natriumsulfat und abgespaltenem Wasser bestehende Lösung. Stärkeres Erhitzen bringt das Wasser zum Verdampfen, also die Substanz zum Kalzinieren. Der eingetrocknete, feste, nun völlig wasserfreie Rückstand ist das kalzinierte Natriumsulfat, das sich durch Umkristallisieren aus Wasser nach Belieben wieder in das Glaubersalz zurückverwandeln läßt. Ohne Erhitzen, schon durch bloßes Lagern an der Luft, kann von einem Salz Kristallwasser wegdunsten. An der Luft liegendes Glaubersalz wird trüb und pulverig; es verwittert. Ein Gehalt an Kristallwasser ist oft von Einfluß auf die Farbe. Die großen blauen Kristalle des Kupfervitriols $CuSO_4,5\,H_2O$ zerbröckeln beim Kalzinieren zu weißem wasserfreiem Kupfersulfat $CuSO_4$.

Die Möglichkeit eines Kristallwassergehalts erweist, daß in den Salzen, obwohl sie dank der Bildungsweise aus Säure und Base eine Ausgeglichenheit darstellen, die Verbindungsfähigkeit noch nicht ganz erloschen ist. Dies äußert sich auch durch das Auftreten von Doppelsalzen, von lockeren Verbindungen der Salze untereinander. Der Alaun ist ein solches Doppelsalz; er ist eine Vereinigung zweier Stoffe, des Kaliumsulfats K_2SO_4 und des Aluminiumsulfats $Al_2(SO_4)_3$, und wenn wir beide Salze zusammen in Wasser auflösen, so kristallisiert daraus nicht wieder das einzelne Salz, sondern die Verbindung derselben aus. Die in großen glasklaren Oktaedern erhältlichen Kristalle, die außerdem noch reichlich Kristallwasser beherbergen, haben die Formel $K_2SO_4,Al_2(SO_4)_3,24\,H_2O$ oder halbiert und zusammengezogen angeschrieben $KAl(SO_4)_2,12\,H_2O$. Dieses Kaliumaluminiumsulfat ist nur einer von den vielen Alaunen und zwar der gewöhnliche; zu den anderen gelangen wir, wenn das Kalium durch ein anderes Alkalimetall und das Aluminium durch ein anderes dreiwertiges Metall ersetzt wird. Ein technisch wichtiges Doppelsalz ist der in Kalifundstätten vorkommende Karnallit $KCl, MgCl_2,6\,H_2O$, bei dem sich das Chlorid des Kaliums mit dem des Magnesiums verbunden hat. Wie locker derartige Vereinigungen sind, zeigt sich gerade in diesem Beispiel deutlich; lösen wir den Karnallit in heißem

Wasser, so kristallisiert daraus nicht mehr er selbst, sondern nur der eine Bestandteil, das Chlorkalium KCl, aus.

Daß die zusammengebrachten Salze sich von ein und derselben Säure ableiten, also den gleichen Säurerest enthalten, ist wesentlich für das Zustandekommen der Doppelsalze. Ist auch der Säurerest verschieden, so finden Wechselwirkungen statt. Je nach der Sachlage tauschen sich die Säurereste vollständig gegeneinander aus, und so entstehen aus Kaliumsulfat und Chlorbarium durch ein derartiges Wechselspiel Chlorkalium und Bariumsulfat:

$$K_2SO_4 + BaCl_2 = 2\,KCl + BaSO_4\,.$$

Die farblose Lösung des Kaliumsulfats, mit der gleichfalls farblosen Lösung des Chlorbariums versetzt, trübt sich sofort milchig-weiß und setzt dann unter Wiederklärung die trübende Substanz als weißen Niederschlag am Boden des Gefäßes ab. Der Niederschlag ist das entstandene Bariumsulfat $BaSO_4$, während das gleichzeitig auftretende Chlorkalium in der Flüssigkeit gelöst bleibt. Wie das Kaliumsulfat verhält sich jedes andere wasserlösliche Salz der Schwefelsäure, und daher entspricht es nur der allgemeinen Regel, wenn auch aus Lösungen des Glaubersalzes, der Alaune und Vitriole mit Chlorbarium der weiße Bariumsulfatniederschlag ausfällt. Diese Befunde im Verein mit der Tatsache, daß schon die Schwefelsäure selbst mit Chlorbarium den Niederschlag liefert,

$$H_2SO_4 + BaCl_2 = 2\,HCl + BaSO_4,$$

machen uns klar, daß das Chlorbarium, unabhängig von allem anderen, lediglich auf den Rest SO_4 anspricht. Das Chlorbarium ist das chemische Reagens zum Nachweise des Schwefelsäurerestes; das Eintreten der weißen Fällung bezeugt das Vorhandensein dieses Restes.

Für die Reste anderer Säuren stehen ebenfalls Reagenzien zur Verfügung. Das Silbernitrat, das in Wechselwirkung sowohl aus der Salzsäure als auch aus deren Salzen einen weißen, am Licht violett werdenden Niederschlag von Chlorsilber AgCl ausfällt, ist das Reagens auf den Säurerest dieser Säure. Die Gleichung für die Reaktion mit der Salzsäure lautet:

$$HCl + AgNO_3 = HNO_3 + AgCl$$

und die für die Reaktion mit Kochsalz:

$$NaCl + AgNO_3 = NaNO_3 + AgCl\,.$$

Im Silbernitrat steht uns also ein Mittel zu Gebote, um den Chlorgehalt der Chloride festzustellen. Die Zahl der bekannten Chloride ist sehr groß, die meisten von ihnen gehören jedoch überhaupt nicht zu den Salzen, und gegen sie verhält sich das Silbernitrat ganz anders. Das Chloroform, eine farblose betäubende Flüssigkeit, ist ein Halogenid des Kohlenstoffs von der Formel $CHCl_3$ und trotz seines hohen Chlorgehalts ohne jeden Salzcharakter. Das Fehlen des Salzcharakters reicht aus, um die Fähigkeit zum Umsatz mit Silbernitrat und zur Bildung des Chlorsilberniederschlags zu unterdrücken. Dieser Erfahrung kommt allgemeinste Bedeutung zu. Ein Säurerest antwortet auf sein Reagens nur in der Säure oder in deren Salzen, nicht aber, wenn er in einer andersartigen Substanz steckt.

Ob ein Säurerest atomarm ist wie der der Salzsäure oder zusammengesetzt wie der der Schwefelsäure, in den Salzen zeigt er immer volle Selbständigkeit. Der andere Bestandteil der Salze, sei es ein Metallatom, sei es ein Radikal, verhält sich genau ebenso und antwortet auf das ihm entsprechende Reagens mit der gleichen Unabhängigkeit von allem Übrigen. Welches Reagens zu wählen ist, richtet sich nicht allein nach der Natur des Metalls, sondern auch nach der Wertigkeitsstufe, auf der es sich im Salz befindet. Das Eisen reagiert in den Ferrosalzen anders als in den Ferrisalzen und besonders charakteristisch, weil sehr augenfällig, sind die Reaktionen der letzteren. Wird zu den gelblichen Lösungen der Ferrisalze eine farblose Auflösung des Rhodankaliums zugefügt, so bildet sich das tief rotbraune Ferrirhodanid, das schon in geringen Mengen die Flüssigkeit intensiv rötet und damit den Nachweis sogar von Spuren des ferriförmigen Eisens leicht und rasch ermöglicht. Ein anderes, gleichfalls sehr empfindliches Reagens auf das Ferriatom ist das gelbe Blutlaugensalz, das sich mit ihm zu einem dunkelblauen Farbstoff, zu dem Berlinerblau, umsetzt.

Selbständigkeit und Unabhängigkeit der Reaktionsweise, wenn sie auch in zahlreichen Salzen bestehen, sind dennoch keineswegs allgemeine und unveräußerliche Eigenschaften des Metallatome. Eines von den vielen Beispielen hierfür ist das soeben erwähnte Blutlaugensalz, weiche blättrige gelbe Kristalle, die man früher aus Horn, Blut und Schlachthausabfällen durch Glühen mit Eisenspänen und Pottasche herstellte und heute aus ausgebrauchter Reinigungsmasse der Gasfabriken bereitet. Das Salz ist eine Eisenverbindung und der Eisengehalt in der Ferroform vorhanden, aber mit keinem der Reagenzien der Ferrosalze nachweisbar. Das Eisen erscheint hier maskiert und wird erst wieder erkennbar, wenn wir das Blutlaugensalz zerstören, etwa mit Schwefelsäure es behandeln und in Eisenvitriol überführen. Umgekehrt können wir Eisenvitriol glatt in Blutlaugensalz zurückverwandeln und zwar dadurch daß wir mit Zyankalium darauf einwirken. Aus der kaum grünlichen Eisenvitriollösung fällt durch die farblose Zyankaliumlösung ein rötlichbrauner Niederschlag aus, der beim Erwärmen in der Flüssigkeit wieder verschwindet indem er sich mit dem noch vorhandenen, überschüssigen Zyankalium zu gelbem Blutlaugensalz vereint. Auf Grund dieser Bildungsweise läge es sehr nahe, das Blutlaugensalz nach Art der Doppelsalze als $4\,KCN,\ Fe(CN)_2,\ 3\,H_2O$ zu formulieren und es als eine lose Verbindung von Ferrozyanid $Fe(CN)_2$ mit Zyankalium KCN aufzufassen. Aber gerade der Umstand, daß es die Reaktionen des Ferroatoms durchaus nicht mehr zeigt, erweist die Hinfälligkeit dieser Ansicht. Das Blutlaugensalz ist das Kaliumsalz einer ganz neu entstandenen Säure, der Ferrozyanwasserstoffsäure $H_4Fe(CN)_6$, in der das Metall festgebundener, reaktionslahmer Bestandteil des Säurerestes geworden ist. Kennzeichnen wir in den chemischen Formeln einen unabhängig reagierenden Bestandteil, der zusammengesetzt ist, durch Einschließen in eckige Klammern, so hebt sich der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Bindungsweisen des Eisens sofort in voller Deutlichkeit ab:

$Fe[SO_4]$	$K_4[Fe(CN)_6]$
Eisenvitriol.	Blutlaugensalz.

Beim Eisenvitriol steht das Symbol des Eisens außerhalb, beim Blutlaugensalz

innerhalb der eckigen Klammer. Im ersten Falle ist das Eisen selbständig, im zweiten unselbständig und mit 6 Resten CN so fest verbunden, daß es erst nach gewaltsamer Ablösung von diesen wieder reaktionsfähig wird. Derartige Salze, bei welchen das Metall seine Selbständigkeit und eigene Reaktionsfähigkeit eingebüßt hat, bezeichnet man als Komplexsalze. Das Blutlaugensalz ist ein Komplexsalz, dessen unabhängig reagierendes Metall das Kalium und dessen unabhängig reagierender Säurerest der eisenhaltige Komplex $Fe(CN)_6$ ist.

Diese Darlegungen veranschaulichen, daß Metalle in zweierlei Art in Salzen vorkommen können. Sogar in ein und demselben Salz kann ein und dasselbe Metall in beiderlei Bindungsarten auftreten. Ferrisalze liefern beim Zusatz von gelbem Blutlaugensalz, wie schon oben angegeben, durch Wechselspiel das Berlinerblau, das das Ferrisalz der Ferrozyanwasserstoffsäure darstellt. Im Berlinerblau ist demnach das Eisenatom in beiden Bindungsarten vorhanden; komplex in der Ferroform und unabhängig reagierend in der Ferriform.

In dem Rest $Fe(CN)_6$ der Ferrozyanwasserstoffsäure sind Ferroatom Fe und Zyanradikal CN gegenseitig fest aneinander gebunden. Das Zyan seinerseits ist schon ein Säurerest, und die zugehörige Säure ist die Blausäure, die gerade im Hinblick auf die leichte Überführbarkeit in blaue Stoffe ihren Namen erhalten hat. Das Zyan, das nach dem griechischen Wort für stahlblau benannt ist, zeigt weitreichende Analogie mit den Halogenen und wird wegen dieser Nachahmung von Atomen zu den typischen Radikalen gerechnet. Seine Wasserstoffverbindung, die Blausäure HCN, ist eine farblose, leicht verdampfende Flüssigkeit von starkem Bittermandelgeruch und ungeheurer Giftigkeit. Sie ist eine von den schwächsten Säuren, und ihre wäßrige Lösung reagiert auf Lackmus kaum noch sauer. Weil sie eine nur schwache Säure ist, neigen ihre Salze zum Zerfall nach rückwärts in Base und Säure. Das Zyankalium KCN spaltet sich beim Auflösen in Wasser zu einem erheblichen Bruchteil rückwärts in Kalilauge und Blausäure:

$$KCN + H_2O = KOH + HCN.$$

Beim Prüfen mit einem Indikator überwiegt die starke Kalilauge die schwache Blausäure in unvergleichlichem Maße, und daher reagiert die Zyankaliumlösung nicht neutral, sondern hochgradig alkalisch.

Die Aufnahme von Wasser heißt man eine Hydrolyse. Das Zyankalium erfährt also in wäßriger Lösung zum Teil eine Hydrolyse, und dies gibt sich durch die alkalische Reaktion der Flüssigkeit kund. Alkalisalze anderer schwacher Säuren, etwa von Kohlensäure oder Borsäure, verhalten sich in derselben Weise, und so reagieren Soda und Borax gleichfalls alkalisch. Hydrolyse tritt in Gegenwart von Wasser bei allen Salzen ein, bei denen die zugrunde liegende Säure oder ebenso die zugrundeliegende Base zu den schwachen gehört. Beispiele, wo infolge ungenügender Stärke nicht der Säure, sondern der Base Hydrolyse sich einstellt, sind die Salze der Tonerde. Das Aluminiumsulfat und damit auch der Alaun reagieren kräftig sauer.

In dem Säurerest $[Fe(CN)_6]$ der Ferrozyanwasserstoffsäure sind mit den Eigenschaften des Ferroatoms zugleich die des Zyanradikals erlahmt. Die 6 Radikale bauen sich mit dem Eisenatom zu dem Komplex derart zusammen, daß er seine

besonderen Eigenschaften besitzt. Er ist der Rest einer starken Säure, so daß das Blutlaugensalz ganz verschieden vom Zyankalium keiner Hydrolyse durch Wasser unterliegt. Auch die Giftigkeit weicht durch die Komplexbildung.

e) Die Elektrolyte.

Die bedeutungsvollen Beobachtungen Galvanis und die grundlegenden Entdeckungen Voltas um die Wende des 18. Jahrhunderts erschlossen im elektrischen Strom eine neue Naturkraft, ein neues Mittel zur Hervorbringung chemischen Geschehens. In rascher Folge stieß man auf unerwartete Tatsachen und ungeahnte Beziehungen; man fand die elektrische Zerlegbarkeit des Wassers, und Davy entdeckte die Alkalimetalle. Mit diesen und anderen Errungenschaften zog in die chemischen Lehren die Elektrizität als völlig neuer, bis dahin ganz unbeachteter Faktor ein, und immer mehr schälte sich der Gedanke heraus, daß elektrische Kräfte die chemischen Vorgänge lenken. Es entstanden die elektrochemischen Theorien, von welchen die wichtigste und gestaltungsvollste die dualistische Lehre des berühmten Altmeisters der Chemie, des Schweden Berzelius (1779—1848) war, jenes unermüdlichen Forschers, der mit vorbildlicher Gründlichkeit seine Lebensarbeit der Ermittlung der quantitativen Zusammensetzung der Stoffe widmete. Die dualistische Lehre schrieb den Atomen elektrische Ladungen zu, die entweder nach der positiven oder nach der negativen Seite überwiegen. Die Elemente bevorzugen die eine oder die andere Ladungsart, und eben in diesem Ladungszustand liegt die Ursache der chemischen Vorgänge; die entgegengesetzt geladenen Teilchen ziehen sich an, und die chemische Vereinigung ist der Ausgleich des Gegensatzes. Die Vorstellung des elektrischen Zustands wurde auf die Basen und Säuren ausgedehnt und so z. B. das Magnesiumsulfat gedeutet als die Verbindung der positiv geladenen Base Magnesia MgO mit der negativ geladenen Schwefelsäure SO_3. Diese 1812 von Berzelius aufgestellte und von ihm durch Jahrzehnte hindurch verfochtene elektrochemische Lehre scheiterte vor allem an den Tatsachen der allmählich heranwachsenden organischen Chemie, wo ein Dualismus, wie Dumas und Laurent 1836 erkannten, nicht besteht. Der ganze Gedankengang hat aber außerordentlich fruchtbringend gewirkt und Zusammenhänge geoffenbart, die Gemeingut der Wissenschaft geworden sind. Berzelius' Ansichten sind der Zeit vorausgeeilt; noch der Erfahrungen eines ganzen Jahrhunderts bedurfte es, um den elektrochemischen Vorstellungen den ihnen gebührenden beherrschenden Platz anzuweisen.

Der elektrische Strom vermag viele chemische Verbindungen zu zerlegen und aus ihnen die Elemente oder andere Bestandteile abzuscheiden. So spaltet er Salzsäure in Wasserstoffgas und Chlorgas. Um solche Zerlegungen herbeizuführen, muß der elektrische Strom durch die Substanz hindurchfließen, muß diese also ein Leiter der Elektrizität sein. Nichtleiter sind für den Strom unzugänglich und werden daher von ihm nicht angegriffen; aber selbst bei Leitern ist eine Veränderung nicht Notwendigkeit. Wir unterscheiden zweierlei Arten von Leitern, solche erster und solche zweiter Klasse. Die Leiter erster Klasse, zu welchen vor allem die Metalle gehören, werden vom Strom durchflossen, ohne daß es zu irgendeiner chemischen Änderung kommt. Die Leiter zweiter Klasse hingegen, vorzugsweise Flüssigkeiten, seien es

Lösungen, seien es Schmelzen, lassen den Strom nur unter gleichzeitiger Zersetzung durch. Dort, wo durch ein eingesenktes Blech er auf der einen Seite die Pforte des Eingangs und durch ein zweites Blech auf der anderen Seite die des Austritts hat, findet die Abscheidung der Bestandteile statt. Einzig und allein an diesen beiden Stellen vollzieht sich die Zerlegung; auf der einen Seite erscheint der eine und auf der anderen der andere in Freiheit gesetzte Bestandteil. Faraday bezeichnete 1834 die Leiter zweiter Klasse als Elektrolyte, die Pforten des Stromes als Elektroden

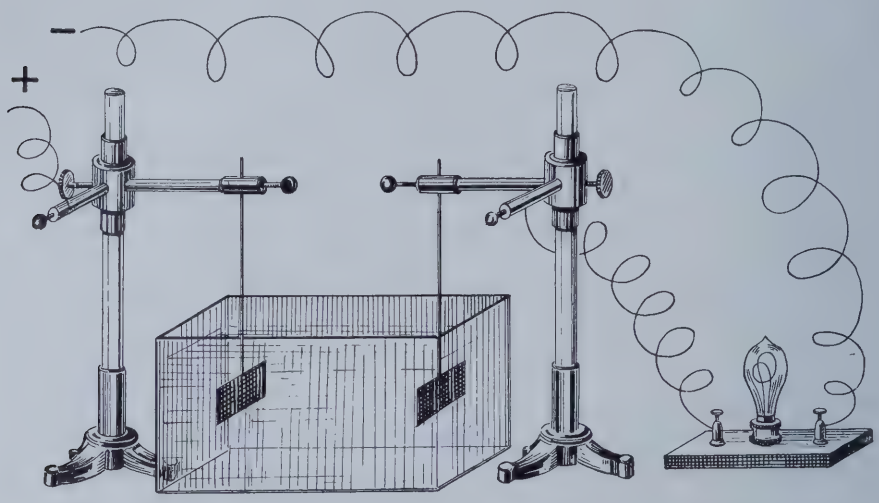


Abb. 109.

und den an diesen sich abspielenden chemischen Vorgang als Elektrolyse. Zur genaueren Unterscheidung der beiden, sich physikalisch und chemisch gerade entgegengesetzt auswirkenden Elektroden führte er für die als Einlaß dienende den Namen Anode und für die als Auslaß dienende den Namen Kathode ein. Die Salzsäure ist also ein Elektrolyt, und bei Verwendung von Elektroden aus Platinblech besteht die Elektrolyse in einer Entwicklung von Chlorgas an der Anode und in der gleichzeitigen Entwicklung von Wasserstoffgas an der Kathode.

Salze, Säure und Basen sind diejenigen Stoffe, die Elektrolyte bilden. In Wasser aufgelöst ergeben sie Flüssigkeiten, die der Strom durchdringt und zersetzt. Eben diese Lösungen, in welchen die typischen, rein chemischen Reaktionsweisen so charakteristisch hervortreten, sind Elektrolyte. Das Wasser selbst ist kaum ein Elektrolyt. Reines Wasser ist ein derart schlechter Leiter der Elektrizität, daß sein Leitvermögen überhaupt nicht in Betracht kommt; erst der Auflösungsvorgang schafft die Bedingungen der Leitfähigkeit. Ein einfacher Versuch kann uns leicht davon überzeugen. Wird in der in Abb. 109 skizzierten Weise ein mit reinem Wasser gefüllter Trog, in den zwei Platinbleche als Elektroden eingesenkt sind, über eine elektrische Glühbirne hinweg so an eine städtische Lichtleitung angeschlossen, daß dem Strom der Weg über die linke Elektrode durch die Flüssigkeit zur rechten und dann durch die Birne freigegeben ist, so bleibt die Lampe dunkel. Sie leuchtet aber augenblicklich hell auf, wenn wir in das Wasser Kochsalz oder Glaubersalz hinein-

werfen oder Salzsäure oder Natronlauge hineinschütten und die Auflösung und Verteilung durch Umrühren beschleunigen. Der ungeheure Widerstand, den das Wasser dem elektrischen Strom darbietet, erniedrigt sich infolge der Substanzauflösung sofort weitgehend und weicht nun einem guten Leitvermögen.

Die Geschwindigkeit, mit welcher sich ein Elektrolyt an der Elektrode zersetzt, hängt von der Stromstärke ab und ist dieser proportional. In einer gegebenen Zeit bewirkt ein doppelt so starker Strom doppelt so große Ausscheidungen. Die vom Strom erfaßten Bestandteile des Elektrolyten, die den Elektroden zugetrieben und dann dort in Freiheit gesetzt werden, wurden von Faraday als Ionen bezeichnet. Die Anionen sind die Bestandteile, welche der Anode zuwandern, die Kationen die, welche auf die Kathode zugehen. In der Salzsäure bestehen die Anionen aus Chlor und die Kationen aus Wasserstoff. Die Ionen sind völlig verschieden von den freien Elementen und verwandeln sich in diese erst, wenn sie den Prozeß der Elektrolyse durchmachen. Das Chlorion wird zu Chlorgas erst durch den elektrochemischen Vorgang an der Anode, das Wasserstoffion zu Wasserstoffgas erst durch den Vorgang an der Kathode.

Obwohl die Ionen, entsprechend der wechselnden chemischen Natur der Elektrolyte von Fall zu Fall verschieden sind, unterliegen sie dennoch demselben allgemeinen Fundamentalgesetz. Faraday entdeckte es im Jahre 1833 und nannte es Gesetz der festen elektrolytischen Aktion. In seiner einfachsten Form besagt es, daß der nämliche Strom in den verschiedenen Elektrolyten äquivalente Mengen der Elemente freimacht. Um das Gesetz zu veranschaulichen, denken wir uns eine Anzahl elktrolythaltiger Tröge derart hintereinandergeschaltet, daß durchweg die Kathode des einen mit der Anode des darauffolgenden durch einen Draht metallisch leitend verbunden ist. Ein durch diese ganze Batterie von Trögen hindurchgeschickter Strom fließt in allen vorhandenen Elektrolyten in gleicher Stärke und bringt an den sich folgenden Elektroden von den jeweiligen Ionen Mengen zur Ausscheidung, die in festem gesetzmäßigem Zahlenverhältnis zueinander stehen. Das Zahlenverhältnis ist so beschaffen, daß die ausgeschiedenen Mengen einander äquivalent, d. h. gleichwertig sind.

Der Wertigkeitsbegriff ist dabei in gleichem Sinne zu gebrauchen, wie wir ihn bereits bei den Salzen kennengelernt haben. Äquivalent sind demnach solche Mengen, die sich gegenseitig ersetzen können. Bei einwertigen Elementen sind die durch das Atomgewicht ausgedrückten Mengen einander äquivalent, also beispielsweise 1,008 g Wasserstoff, 35,46 g Chlor, 23,00 g Natrium und 107,88 g Silber. Diese Zahlen messen nach dem Faradayschen Gesetz nun das Verhältnis, nach welchem die Elemente durch einen elektrischen Strom ausgeschieden werden. Derjenige Strom, der aus Salzsäure an der Kathode 1,008 g Wasserstoffgas entwickelt, macht in der gleichen Zeit an der Anode Chlor in der Menge von 35,46 g frei und scheidet aus einer Höllensteinlösung an deren Kathode Silber in dem Betrag von 107,88 g aus. Er macht genau die gleichen Mengen dieser Elemente aus einer anderen Säure, aus einem anderen Chlorid und aus einem anderen Silbersalz frei. Aus einer Kochsalzlösung setzt er an der Kathode 23,00 g Natrium in Freiheit, das allerdings als Metall nicht in Erscheinung tritt und nicht treten kann, da es augenblicklich mit dem vorhandenen Wasser reagiert und sich darin wieder auflöst; es entwickelt dabei eine ihm äquivalente

Menge Wasserstoff, die genau so groß ist wie die aus einer Säure ausgeschiedene. Die wäßrige Lösung irgendeiner anderen Natriumverbindung, z. B. von Ätznatron, zeigt dasselbe Verhalten, so daß Natronlauge und Salzsäure, obwohl sie chemische Gegensätze darstellen, an der Kathode dasselbe Gas in demselben Betrage liefern. Um das freie Natrium handgreiflich zu fassen, müssen wir das Wasser fernhalten. Verwenden wir keine Lösung, sondern geschmolzenes Ätznatron, so scheidet es sich wirklich als Metall aus, und dieser Versuch war es ja, der zur Entdeckung der Alkalimetalle führte.

Bei zweiwertigen Elementen ersetzt ein Atom zwei Wasserstoffatome, ist folglich das halbe Atomgewicht das Maß für das Äquivalent. Das Kupfer ist im Kupfervitriol zweiwertig; der Strom, der aus Salzsäure 1,008 g Wasserstoff entwickelt, scheidet daher aus einer Kupfervitriollösung an der Kathode Kupfer in der Menge von $^1/_2 \times 63{,}57$ oder 31,79 g aus. Analog ist die Sachlage bei den drei- und vierwertigen Metallen, deren Äquivalent nur $^1/_3$ oder $^1/_4$ des Atomgewichtes ausmacht. Der Begriff der Wertigkeit, den wir früher nur als Mittel übersichtlicher Einteilung kennengelernt haben, erhält durch diese Beziehungen einen tieferen Sinn.

Ebenso wie der Wasserstoff, die Metalle und die Halogene können auch Radikale und Säurereste als Ionen funktionieren, und auch sie unterwerfen sich dem Faradayschen Gesetz. Die Elektrolyse nimmt aber bei ihnen fast immer einen komplizierteren Verlauf. Sie wandern gleichfalls den Elektroden zu und werden dort gleichfalls in Freiheit gesetzt; der ausgeschiedene Stoff ist jedoch in der Regel ein ganz anderer, da sich an den eigentlichen elektrochemischen Vorgang sofort ein chemischer anschließt. Elektrolysieren wir Sulfate, etwa eine Glaubersalzlösung, so begibt sich deren Säurerest SO_4 zur Anode; dort entweicht indessen lediglich Sauerstoffgas, und von einer freigemachten Substanz der Zusammensetzung SO_4 ist nicht das geringste Anzeichen zu bemerken. Der Grund hierfür ist die Unbeständigkeit einer solchen Substanz; sie verwandelt sich unter Aufnahme von Wasser und gleichzeitiger Abspaltung von Sauerstoff augenblicklich in Schwefelsäure:

$$SO_4 + H_2O = H_2SO_4 + O\,.$$

Eintauchen eines Streifens Lackmuspapier in die Flüssigkeit um die Anode bestätigt uns leicht das Auftreten der Säure. Eine elektrolysierte Glaubersalzlösung reagiert also an der Anode sauer; an der Kathode reagiert sie alkalisch, weil bei der Umsetzung des hier freigemachten Natriums mit dem Wasser neben Wasserstoff zugleich Natronlauge entsteht. Im Endergebnis wirkt sich folglich der elektrische Strom einfach dahin aus, daß er das Glaubersalz in Säure und Base zerlegt. Beide liefert er getrennt voneinander, die Säure im Raum um die Anode und die Base im Raum um die Kathode.

Sauerstoff und Wasserstoff entstehen bei der Elektrolyse des Glaubersalzes in äquivalenten Mengen. Der Sauerstoff ist zweiwertig, und sein Äquivalent beträgt daher $^1/_2 \times 16$ oder 8 g. Die beiden Gase werden infolgedessen im Gewichtsverhältnis 8 : 1,008 entbunden, gerade in dem Verhältnis, das sie im Knallgas haben müssen, um restlos zu Wasser zu explodieren. Im gleichen Verhältnis bilden sie sich auch aus verdünnter Schwefelsäure, wo an der Anode dasselbe stattfindet wie

bei den Sulfaten, und wo an der Kathode sich wie bei allen Säuren Wasserstoff ausscheidet.

Sämtliche Säurereste sind Anionen, und ihnen gesellt sich das Hydroxyl, der charakteristische Bestandteil der Basen, hinzu. Entwickeln die Säuren an der Kathode Wasserstoff, so entwickeln die Basen an der Anode Sauerstoff. Das Hydroxyl wird an der Anode frei, zersetzt sich aber sofort und bildet unter Übergang in Wasser die Quelle des Sauerstoffgases:

$$2\,OH = H_2O + O\,.$$

Was Säuren und Basen an der anderen Elektrode ausscheiden, wechselt von Fall zu Fall und hat mit ihrer Definition nichts zu tun.

Einen ausschlaggebenden Einfluß auf den Verlauf einer Elektrolyse übt das Elektrodenmaterial aus. Bei den beschriebenen Versuchen war stillschweigend angenommen, daß es aus Platin, aus einem Edelmetall, besteht. Gelangen weniger edle oder unedle Metalle zur Verwendung, so greifen diese in die Elektrolyse ein und weisen dem chemischen Vorgang eine andere Richtung. Für die Kathode ist die Materialfrage allerdings ziemlich bedeutungslos, denn der Wasserstoff und die Metallatome, die sich hier ausscheiden, setzen sich mit dem Material nicht um. Ganz anders die Anode, die gefährdet ist und zernagt und aufgelöst wird, wenn sie aus einem unedeln Leiter hergestellt ist. Eine verdünnte Schwefelsäure zwischen Kupferelektroden elektrolysiert, entwickelt wohl an der Kathode Wasserstoff, an der Anode dagegen keinen Sauerstoff; dafür wird die Anode angefressen und geht allmählich am Blauwerden des Elektrolyten kenntlich als Kupfervitriol in Lösung. Das Kupfer der Elektrode hat sich unmittelbar mit dem Säurerest SO_4 sofort nach dessen Abscheidung verbunden, wozu es zum Unterschied vom Platin deswegen imstande ist, weil es unedler ist. Das Faradaysche Gesetz bleibt in Geltung, ob die Elektroden unangreifbar oder angreifbar sind, und auch die sich auflösende Kupfermenge fügt sich der Äquivalentbeziehung.

Durch alle Tatsachen der Elektrolyse, wenn sie noch so kompliziert sind, leuchtet immer wieder und wieder diese Beziehung durch, die eine verheißungsvolle Offenbarung des Wesens der Atome darstellt. Wie wir aus den Gesetzmäßigkeiten bei der Salzbildung ersahen, regelt die Wertigkeit die Verkoppelung zwischen Metall und Säurerest, mit deren Verbindungsvermögen sie daher in ursächlichem Zusammenhang stehen muß. Wir gelangen auf diese Weise zur Vorstellung, daß die Wertigkeit eines Bestandteiles irgendetwas bedeutet, was von dem die Wertigkeit ausmachenden Etwas des anderen Bestandteiles in Fesseln gelegt wird. Wir gebrauchen für diese vertieftere Auslegung des Wertigkeitsbegriffes das von Wichelhaus 1868 vorgeschlagene Wort Valenz und können dann sagen, ein einwertiges Atom hat eine Valenz, ein zweiwertiges hat zwei Valenzen usw.

Die große Rolle, die die Wertigkeit bei den elektrochemischen Vorgängen spielt, weist auf einen elektrischen Ursprung hin. Um dies aufzuklären, haben wir noch weitere Erfahrungen darzulegen; zunächst können wir nur feststellen, wieviel Elektrizität erforderlich ist, um die von der Wertigkeit oder Valenz angelegten Fesseln zu sprengen. Die physikalische Messung ergibt, daß für die Entwicklung von 1,008 g Wasserstoff der Strom so lange fließen muß, bis durch die Elektroden

96490 Coulomb gegangen sind. Dieselbe Elektrizitätsmenge ist zur elektrolytischen Ausscheidung oder zur elektrolytischen Auflösung für das Äquivalentgewicht irgendeiner anderen elektrolysierbaren Substanz notwendig. Auf Grund dieser Betrachtungen gelangen wir zu folgender allgemeinster Formulierung des Faradayschen Gesetzes: Die nämliche Elektrizitätsmenge macht in den verschiedenen Elektrolyten gleich viel Valenzen frei.

f) Die Ionen.

Der in einem Elektrolyten fließende Strom ruft außer den ausgesprochen chemischen Wirkungen noch andere hervor, die weniger ins Auge springen und mehr physikalischer Natur sind. Er verändert den Gehalt der Lösung, natürlich teils deswegen, weil sich etwas daraus ausscheidet, aber auch deswegen, weil innerhalb der Flüssigkeit, selbst wenn sie völlig ungestört ruht, stoffliche Verrückungen eintreten. Die Anionen wandern zur Anode, die Kationen zur Kathode und dies drückt sich in Konzentrationsverschiebungen der gelösten Substanz aus. Verschiebung und Wanderung erscheinen schwer verständlich, denn sie beweisen, daß den Ionen eine gewisse selbständige Beweglichkeit zukommt. Beide Ionenarten bewegen sich gegeneinander, obwohl sie nach der chemischen Vorstellung fest miteinander verbunden sein sollen. Den erlösenden Schritt zur restlosen Erklärung dieses Widerspruchs tat der Schwede Svante Arrhenius im Jahre 1887. Er entwickelte die Theorie der elektrolytischen Dissoziation, deren Grundgedanke der ist, daß die Ionen gar nicht aneinander gebunden sind und frei nebeneinander existieren. Diese mit der Überlieferung scheinbar völlig brechende Anschauung hat sich glänzend bewährt und für die Erkenntnis der wahren chemischen Bedeutung der Elektrizität fruchtbaren Boden geschaffen. Welche Bestandteile die Ionen eines Salzes sind, war schon im Jahre 1859 von Hittorf klargestellt worden. Diejenigen Atome oder Atomgruppen, die bei den Umsetzungen der Salze, Säuren oder Basen selbständig und unabhängig reagieren, diese sind es, welche als Ionen auftreten. Nach der Theorie von Arrhenius reagieren sie gerade deshalb selbständig, weil sie ungebunden und losgetrennt von ihren Partnern in der Lösung eine freie eigene Existenz führen.

Der Nachweis dieser freien Existenz der Ionen kann mit Hilfe des osmotischen Druckes und anderer damit zusammenhängender Erscheinungen erbracht werden; zu nennen sind vor allem die Gefrierpunktserniedrigung und die Siedepunktserhöhung. Reines Wasser gefriert bei Null Grad; wird darin irgendeine Substanz aufgelöst, so sinkt der Gefrierpunkt. Die Erniedrigung richtet sich nicht nach der Natur der Substanz, sondern nur nach der Anzahl aufgelöster Moleküle. Dasselbe gilt für die Erhöhung des Siedepunktes, der auf Temperaturen über 100° steigt, wenn im Wasser eine Substanz gelöst ist. Raoult hat experimentell und van't Hoff theoretisch abgeleitet, daß Lösungen, die gleich viel Moleküle beliebiger gelöster Stoffe enthalten, gleiche Gefrierpunktserniedrigung und gleiche Siedepunktserhöhung zeigen. Dieses Gesetz gilt nicht nur für Lösungen in Wasser, sondern auch für solche in anderen Flüssigkeiten und ist für die Chemie insofern von Wichtigkeit, als auf seiner Basis einfache Methoden zur Molekulargewichtsbestimmung beruhen. Man löst eine abgewogene Menge der zu untersuchenden Substanz in einer abgewogenen

Menge des Lösungsmittels auf, ermittelt Gefrierpunktserniedrigung oder Siedepunktserhöhung des letzteren und berechnet daraus an Hand mathematischer Formeln das Molekulargewicht der Substanz.

Diese Methoden leisten im allgemeinen gute Dienste und eignen sich z. B. zur Bestimmung des Molekulargewichts von Zuckerarten. Sie versagen aber, wenn es sich um Salze, Säuren und Basen handelt. Die Elektrolyte zeigen viel zu große Gefrierpunktserniedrigungen und Siedepunktserhöhungen. Bei Kochsalzlösungen z.B. fallen die Gefrierpunktserniedrigungen und Siedepunktserhöhungen ungefähr doppelt so hoch aus, als sie nach der Molekülformel NaCl zu erwarten wären; beim Calciumchlorid sind sie sogar etwa dreimal so hoch, als die Formel $CaCl_2$ verlangt. Diese für die Elektrolyte durchaus typischen Abweichungen lassen keine andre Erklärung zu wie die, daß die Zahl der in der Lösung befindlichen Moleküle größer ist als die Zahl der vermeintlich aufgelösten. Da, wo wir glauben, nur ein einziges Molekül aufgelöst zu haben, wurden von uns in Wirklichkeit zwei oder drei Moleküle in die Lösung gebracht, und daher kommen die viel zu hohen Werte der Beobachtung. Die Lösung des Kochsalzes enthält die Substanz nicht als geschlossenes Molekül NaCl, sondern in Form von Natriumionen und Chlorionen, von denen jedes als selbständiges Individuum den Gefrierpunkt und den Siedepunkt in genau derselben Weise beeinflußt wie ein gewöhnliches Molekül. Anstatt der Kochsalzmoleküle haben wir je ein Natriumion und ein Chlorion, also eine Verdoppelung der Zahl gelöster Einzelindividuen, und beim Calciumchlorid, wo eine Spaltung in je ein Calciumatom und zwei Chloratome eintritt, eine Verdreifachung.

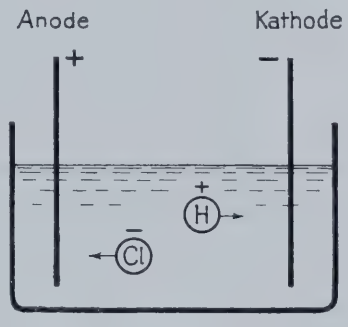


Abb. 110.

Was Ionen von Atomen und Molekülen unterscheidet, ist die elektrische Ladung. Während die Atome und Moleküle sich elektrisch neutral verhalten, sind die Kationen positiv und die Anionen negativ elektrisch. Dieser Ladungszustand ist einschneidend für das Wesen der Ionen und nicht bloß eine mehr zufällige Begleiterscheinung wie etwa die Elektrisierung einer Metallkugel. Chlorionen sind etwas ganz andres als gasförmiges Chlor; sind die ersteren negativ geladene Chloratome, so besteht das letztere aus nichtelektrischen zweiatomigen Molekülen der Formel Cl_2. Natriumionen sind positiv geladene Natriumatome im Gegensatz zum Natriummetall, das aus neutralen Atomen besteht. Diese prinzipiellen Unterschiede erklären ohne weiteres, warum eine Kochsalzlösung, die ja Chlorionen und Natriumionen enthält, durchaus nicht die Eigenschaften des Elementes Chlor und des Elementes Natrium besitzt. Gerade in der unter Erglühen stattfindenden Vereinigung dieser beiden Elemente vollzieht sich der Sprung in die Ionennatur. Wie die moderne Röntgenstrahlenforschung erweist, ist sogar schon der feste Kochsalzkristall aus Ionen aufgebaut, so daß beim Lösen des Salzes in Wasser sich diese nur noch voneinander zu trennen brauchen.

Die Ionentheorie gibt uns leicht ein anschauliches Bild von Stromleitung und Elektrolyse. Die Wanderung der Ionen ist keine Folgewirkung des Stromes, sondern

der Strom selbst. Durch den Einfluß des elektrostatischen Feldes, das von den beiden Elektroden im Elektrolyten erzeugt wird, erhalten die Ionen den Antrieb zu ihrer Wanderung. So wird, wie Abb. 110 dies für die Salzsäure verdeutlichen soll, das positive Wasserstoffion von der Anode abgestoßen und von der Kathode angezogen, bis es schließlich letzteres berührt, dabei negative Elektrizität aufnimmt und sich dadurch in ein neutrales Wasserstoffatom verwandelt. Solche neutralen Wasserstoffatome sind einzeln unbeständig und paaren sich sofort zu Wasserstoffgas H_2. Das Chlorion unterliegt umgekehrt gerichteten Kräften, gibt bei Ankunft an der Anode seine negative Ladung ab und geht in ein neutrales Chloratom über, das dann, gepaart mit einem zweiten, als Chlorgas Cl_2 entweicht.

Aus dem Faradayschen Gesetz können wir Schlüsse über die Größe der Ionenladung ziehen. 96490 Coulomb müssen an den Elektroden übertreten, um die Menge von 1,008 g Wasserstoffionen zu neutralisieren; folglich beträgt die Ladung dieser Menge Wasserstoffionen 96490 Coulomb. Beim Chlorion ist sie für 35,46 g ebenso groß, aber von negativem Vorzeichen. Bei zweiwertigen Ionen nimmt die Ladung den doppelten Betrag und bei dreiwertigen den dreifachen an, oder anders ausgedrückt: Jeder Valenz entspricht eine Ladung von 96490 Coulomb. Zur Kennzeichnung in den chemischen Symbolen pflegt man eine positive Valenz durch einen Punkt und eine negative durch ein Komma, also beispielsweise ein Wasserion durch $H^{\cdot}$ und ein Chlorion durch Cl' auszudrücken. Die Symbole mehrwertiger Ionen versieht man mit so viel Punkten oder Kommas, als die Zahl ihrer Valenzen beträgt.

Ebenso einfache Deutungen entspringen aus der Ionentheorie, wenn wir sie auf rein chemische Vorgänge wie die Salzbildung und ähnliche Umsetzungen anwenden. Vermischen wir Natronlauge mit Salzsäure, so heißt dies in Wirklichkeit, daß Natriumionen und Hydroxylionen mit Wasserstoffionen und Chlorionen zusammengebracht werden. Der einzige Vorgang, der sich nun abspielt, ist die Vereinigung von Wasserstoffionen und Hydroxylionen zu Wasser, das, wie seine äußerst minimale Leitfähigkeit anzeigt, kaum eine Neigung zur elektrolytischen Dissoziation hat. Die Natriumionen und Chlorionen bleiben, wie sie waren, und da außer ihnen und Wasser sonst nichts mehr vorhanden ist, haben wir lediglich eine Kochsalzlösung. Der ganze Neutralisationsvorgang reduziert sich auf die einfache Gleichung:

$$H^{\cdot} + OH' = H_2O\,,$$

in welche weder das Säureion der Säure noch das Metallion der Base eingeht. Nun wird der Gegensatz zwischen Säuren und Basen leicht verständlich; er beruht auf der entgegengesetzten Ladung von Wasserstoffion und Hydroxylion und sein Ausgleich auf dem elektrischen Ausgleich dieser beiden.

Die charakteristischen Wirkungen der Säuren erklären sich durch ihren Gehalt an Wasserstoffionen. Die Umsetzung mit Zink und anderen Metallen ist einfache Vertauschung des Ionenzustandes und im wesentlichen durch die Gleichung:

$$2\,H^{\cdot} + Zn = Zn^{\cdot\cdot} + H_2$$

ausdrückbar. Bei den starken Säuren ist die Wirkung darum eine intensivere, weil ihre elektrolytische Dissoziation, d.h. ihre Spaltung in Ionen eine vollkommenere ist.

Bei den schwachen Säuren ist die Dissoziation nur gering, und nur ein kleiner Bruchteil der Anzahl Säuremoleküle hat Wasserstoffionen abgespaltet. Die starken Säuren enthalten viel und die schwachen wenig Wasserstoffionen; dies äußert sich nicht nur chemisch, sondern auch physikalisch, und zwar darin, daß die starken Säuren dank ihres großen Ionengehalts den Strom gut, die schwachen und daher ionenarmen Säuren ihn nur schlecht leiten. Wir haben also die Möglichkeit, auch durch Leitfähigkeitsmessungen Aufschluß über die Stärke der Säuren zu bekommen.

Analoge Verhältnisse treffen wir bei den Basen an. Je leichter die Basenmoleküle zur elektrolytischen Dissoziation neigen, desto mehr Hydroxylionen sind in der Lösung vorhanden und desto kräftiger ist die alkalische Wirkung. Ätznatron ist eine starke Base, weil in der wäßrigen Lösung fast die ganze Substanz der elektrolytischen Dissoziation unterliegt und Hydroxylionen abspaltet. Salmiakgeist ist eine schwache Base, weil nur ein kleiner Teil des gelösten Ammoniaks in das elektrolytisch dissoziierbare Ammoniumhydroxyd NH_4OH übergeht, also überhaupt nicht viel Hydroxylionen entstehen können.

Auch die Salze zeigen je nach ihrer Natur verschiedene Neigung zur elektrolytischen Dissoziation. Die Salze der Alkalien und Erdalkalien sind in wäßriger Lösung praktisch ganz in Ionen gespalten. Als Kation funktioniert das Metallatom, als Anion der Säurerest; beim Salpeter haben wir neben dem Natriumion das einwertige Nitration NO_3' und beim Glaubersalz das zweiwertige Sulfation SO_4''. Die Neigung zur elektrolytischen Dissoziation wird sowohl vom Metall als auch vom Säurerest bestimmt; während sie beim Kochsalz sehr groß ist, finden wir sie beim Quecksilberchlorid $HgCl_2$ kaum noch vor. Dieses unter dem Namen Sublimat bekannte sehr giftige Arzneimittel reagiert auf Quecksilber- und Chlorionen nur mit Hemmung, und die Leitfähigkeit seiner Lösungen ist gering. Für das Bestehen der elektrolytischen Dissoziation ist ganz allgemein bis zu einem gewissen Grade auch das Lösungsmittel verantwortlich. Wir müssen uns vorstellen, daß sich zwischen Anion und Kation Wassermoleküle einschieben und durch Raumversperrung die Vereinigung entgegengesetzter Ionen verhindern. Die Ionen sind hydratisiert, d. h. sie umgeben sich mit einer dicht anliegenden Hülle von Wassermolekülen und schützen dadurch ihre selbständige Existenz.

Manche Kationen, hauptsächlich solche der Edelmetalle und der Eisenmetalle, verharren nur ungern im Ionenzustand und vereinigen sich bei gebotener Gelegenheit mit geeigneten Anionen und sogar mit ganzen Molekülen zu komplizierteren Gebilden, die andere Eigenschaften besitzen, und die man als komplexe Ionen bezeichnet. Ein hierzu besonders willfähriges Anion ist das Ion der blausauren Salze, das einwertige Zyanion CN'. Es krallt sich z. B. am zweiwertigen Eisenion fest, um mit ihm das komplexe Ion des gelben Blutlaugensalzes $K_4Fe(CN)_6$ zu bilden. Dieses Ferrozyanidion $Fe(CN)_6''''$ entsteht durch Zusammentritt von 6 Zyanionen mit einem Ferrion; da in ihm 6 negative mit 2 positiven Valenzladungen zusammentreffen und somit ein Überschuß von 4 negativen Ladungen verbleibt, verhält es sich als vierwertiges Anion. Das Metall, das an und für sich nur als Kation funktioniert, wird durch ein derartiges Einfangen von Zyanionen zum wesentlichen Bestandteil eines Anions.

Wichtig und bestimmend für die Eigenschaften eines Jons ist außer seiner

chemischen Natur noch die Größe seiner Ladung. So bestehen das Ferroion in den Eisen(II)-salzen und das Ferriion in den Eisen(III)-salzen, beide aus dem nämlichen Stoff, eben aus Eisen. Das zweiwertige Ferroion $Fe^{\cdot\cdot}$ hat aber eine zweifache Valenzladung und das dreiwertige Ferriion $Fe^{\cdot\cdot\cdot}$ eine dreifache; dieser Unterschied des elektrischen Zustandes ist von Ausschlag und reicht völlig aus, um den beiden Salzreihen ganz verschiedene Eigenschaften zu verleihen. Das Ferroion kann durch Oxydationsmittel in das Ferriion und umgekehrt das letztere durch Reduktionsmittel in das erstere verwandelt werden, woraus wir ersehen, daß auch die Vorgänge der Oxydation und Reduktion elektrischen Ursprungs sind.

III. Die organischen Verbindungen.

A. Die Isomerie.

Die organische Chemie ist die Lehre von der Zusammensetzung der Kohlenstoffverbindungen. Das ursprüngliche Feld der organischen Chemie waren die von den Mineralstoffen sich eigentümlich unterscheidenden Substanzen tierischer und pflanzlicher Herkunft. Lavoisier erkannte den Kohlenstoff als nie fehlenden Bestandteil dieser Substanzen, und seit dieser Zeit wird das charakteristische chemische Merkmal derselben in ihrem Kohlenstoffgehalt erblickt. Man hielt sie freilich zunächst noch für Stoffe ganz besonderer Eigenart, und selbst als Berzelius 1811 nachwies, daß die Atomtheorie auf sie ebenso wie auf die mineralischen Substanzen anwendbar ist, glaubte man immer noch an eine Kluft zwischen ihnen und den anorganischen Verbindungen. Man blieb bei der Meinung, daß ihre Entstehung nur im lebendigen Organismus erfolgen könne, und daß dazu eine besondere Kraft, die Lebenskraft erforderlich frei. Der Glaube an diese Lebenskraft wurde erschüttert, als es Wöhler 1828 gelang, ein typisches Abscheidungsprodukt des tierischen Organismus, den Harnstoff, künstlich herzustellen. Weitere Entdeckungen entzogen ihm binnen kurzem vollends den Boden, und heute verfügen wir über eine Fülle von Mitteln und Wegen, um organische Substanzen sogar in größerer Zahl und bunterer Mannigfaltigkeit, als die Natur sie uns darbietet, rein chemisch zu gewinnen.

Den künstlichen Aufbau eines Stoffes aus den Elementen oder aus sonstigen Bestandteilen bezeichnet man als Synthese, den umgekehrten Vorgang der Zerlegung als Analyse. Die analytischen Untersuchungen erweisen, daß die organischen Verbindungen neben Kohlenstoff in der Regel Wasserstoff und sehr häufig Sauerstoff, ferner oft Stickstoff und manchmal noch andere Elemente enthalten. Die sogenannte Elementaranalyse ist eine quantitative Methode, die zahlenmäßig ermittelt, wie viel von jedem dieser Elemente in der betreffenden Verbindung vorhanden ist. Die Analyse schafft die Aufklärung und die Bahn für die Synthese, die dann auf dem Wege des Zusammenmischens und des Lösens, des Erhitzens oder Abkühlens, des Destillierens und Filtrierens erfolgt. Was die chemische Synthese leisten kann, ist selbstverständlich nur die Bereitung toter Substanz; sie stellt organische Substanzen her, aber keine organisierte, wie denn überhaupt die Frage nach der Möglichkeit der künstlichen Gewinnung organisierter Substanz, etwa von Zellen, die Zuständigkeit der Chemie überschreitet.

Eine mächtige Förderung hat die organische Chemie durch die Radikaltheorie erfahren, die in ihren ersten Anfängen auf Lavoisier zurückgeht, von Berzelius aufgenommen und von Liebig und von Dumas weiter entwickelt wurde. Unter ihrem Banne standen die Forschungen des ersten Drittels des vorigen Jahrhunderts. Die organischen Radikale sind kohlenstoffhaltige Atomgruppen, die, ohne verändert zu werden, wie ein Element von einer Verbindung zu einer andern übergehen können. Ein solches Radikal ist z. B. das Äthyl C_2H_5, das verbunden mit Hydroxyl den Alkohol $(C_2H_5)OH$ und verbunden mit Sauerstoff den Äther $(C_2H_5)_2O$ bildet. Das, was die Elemente für die anorganische Chemie bedeuten, sind die Radikale für die organische. Dadurch, daß man aber in dem Ausspinnen der Analogie zu weit ging, wurde die Bedeutung der Radikale überschätzt. So stellte man das Äthyl in Parallele zu den Metallen und war dann, als seine Abscheidung glückte, erstaunt, daß das in Freiheit gesetzte Radikal kein metallähnlicher, sondern ein gasförmiger Stoff war, in dem man bald das Butan C_4H_{10}, die Wasserstoffverbindung des Radikals Butyl C_4H_9 erkannte. Derartige und andere Mißerfolge untergruben den Wert der Radikaltheorie, die zwar unter Kolbe um die Mitte des Jahrhunderts nochmals auflebte, aber heute längst überholt ist. Geblieben ist nur das Wort Radikal, das wir aus Gründen der Übersichtlichkeit immer noch anwenden, ohne jedoch irgendeine andere Auslegung wie die einer Atomgruppe damit zu verknüpfen.

Die Namen der meisten organischen Radikale endigen mit der Silbe yl. In vorderster Linie stehen die Radikale der verschiedenen Alkohole, die gerade, weil sie in Alkoholen vorkommen, den gemeinsamen Namen Alkyl erhalten haben. Das einfachste der Alkyle ist das Methyl CH_3, das Radikal des Methylalkohols CH_3OH. Das nächste Alkyl ist das schon erwähnte Äthyl C_2H_5, dann folgen das Propyl C_3H_7 und noch viele andere.

Der Radikalbegriff fördert nicht nur den Überblick, sondern erleichtert zugleich auch die Aufdeckung von Gesetzmäßigkeiten. Um zu solchen zu gelangen, müssen wir die Stoffe miteinander vergleichen, und da begegnet uns sofort als einer der wichtigsten Befunde die auffällige und weittragende Tatsache, daß grundverschiedene organische Substanzen trotz der unzweifelhaften Verschiedenheit dennoch scharf und genau die gleiche chemische Zusammensetzung besitzen können. Diese vor etwa hundert Jahren erstmals gemachten Beobachtungen, die zunächst für irrtümlich erklärt und später nur zögernd anerkannt wurden, sind bedeutungsvoll für die chemischen Anschauungen geworden. Beweisen sie doch, daß Natur und Menge der Bestandteile nicht allein es sind, welche Eigenschaften und Charakter der Verbindungen festlegen, sondern daß noch irgendein anderer Faktor mitbestimmend ist. Zur Aufklärung ist die Atomtheorie berufen, die daraus den grundlegenden Schluß zieht, daß die Moleküle geordnet und gegliedert aufgebaut sind und keineswegs regellos zusammengeworfene Atomhaufen darstellen. Der weitere Faktor, der das ganze Verhalten einer Substanz mitbestimmt, ist also die Anordnung der Atome, ist die Struktur des Moleküls. Eine andere Anordnung heißt eine andere Substanz. Nach der von Berzelius im Jahre 1828 eingeführten Benennungsweise bezeichnen wir die Stoffe gleicher Zusammensetzung als Isomere.

Die Gleichheit der Zusammensetzung ergibt sich aus der Elementaranalyse, die aber über Einzelheiten des Molekülaufbaus noch keine Aufschlüsse liefert. Auch ob

einem Molekül die einfache oder die verdoppelte oder eine sonstwie vervielfachte Formel zugehört, macht für den Ausfall der Analyse nichts aus. So enthalten das aus Karbid herstellbare gasförmige Azetylen und das aus Teer gewinnbare flüssige Benzol beide genau gleich viele Prozente Kohlenstoff und Wasserstoff. Erst aus Molekulargewichtsbestimmungen entspringt, daß dem Azetylen die Formel C_2H_2 und dem Benzol die Formel C_6H_6 zu erteilen ist. Das Molekül baut sich im Falle des Benzols aus dreimal mehr Atomen auf als im Falle des Azetylens, und diese Verdreifachung der Bausteine, die sich notwendigerweise anders zusammengliedern müssen, wirkt sich als durchgreifende Veränderung der Moleküleigenschaften, als Veränderung des physikalischen und chemischen Verhaltens aus. Wir bezeichnen die Stoffe gleicher Zusammensetzung aber ungleicher Molekülgröße als Polymere und unterscheiden von der Polymerie die Isomerie, die sich auf solche Substanzen bezieht, bei denen auch das Molekül von gleicher Größe ist.

Der einfachste und durchsichtigste Fall der Isomerie ist die Metamerie. Er sei charakterisiert an einer Reihe von Substanzen, die alle die gleichlautende Formel $C_4H_8O_2$ besitzen. Die eine davon ist eine dicke, ranzig riechende saure Flüssigkeit und als Buttersäure bekannt; die drei andern sind neutrale wohlriechende Essenzen, die sich durch Alkalien leicht zerlegen lassen und sich auf diese Weise als Verbindungen eines Alkohols mit einer Säure, als Ester, entpuppen. Wie die Formeln:

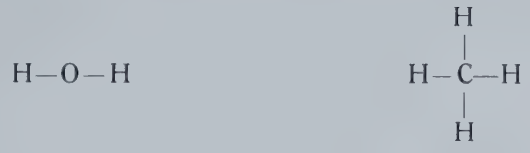
$CHO_2 \cdot C_3H_7$	$C_2H_3O_2 \cdot C_2H_5$	$C_3H_5O_2 \cdot CH_3$	$C_4H_7O_2 \cdot H$
Ameisensäure-propylester.	Essigsäure-äthylester.	Propionsäure-methylester.	Butter-säure.

veranschaulichen, handelt es sich das eine Mal um den Ester der Ameisensäure mit dem Propylalkohol, das zweite Mal um den der Essigsäure mit dem gewöhnlichen Alkohol und das dritte Mal um den der Propionsäure mit dem Methylalkohol. Die einzelnen Alkohole und Säuren sind mit Leichtigkeit zu identifizieren, und damit ist der Unterschied zwischen den vier Substanzen restlos aufgeklärt. Die Metamerie beruht also einfach darauf, daß die in den Verbindungen enthaltenen Radikale wechseln.

Die anderen ungleich mannigfaltigeren Isomeriefälle erfordern zum Verständnis ein viel tieferes Eindringen in die Naturgesetze. Zunächst muß die Annahme einer chemischen Struktur der Moleküle genauer erfaßt und experimentell verfolgbar gestaltet werden. Hierzu verhilft die Valenzlehre, die sich gründet einerseits auf die Schöpfung des Wertigkeitsbegriffes durch Frankland im Jahre 1853 und andrerseits auf die Erkenntnis der Vierwertigkeit des Kohlenstoffs durch Kekulé im Jahre 1858. Die Valenzen ermöglichen die Bindung eines Atoms an ein anderes und lassen sich in grobem Bilde vergleichen mit Haken. Graphisch drücken wir die Verkettung durch einen zwischen den beiden Atomsymbolen gezogenen Bindestrich aus, in welchen wir den Gedanken hineinlegen, daß eine gegenseitige Absättigung von je einer Valenz der beiden Partner stattfinde. Unter der sich vorzüglich bewährenden Voraussetzung, daß beim Kohlenstoff die Valenzzahl 4, beim Sauerstoff 2 und beim Wasserstoff 1 beträgt, können wir Strukturformeln entwickeln, die getreu die Isomerieverhältnisse widerspiegeln und damit nicht nur ihre zuverlässige Führerschaft sondern auch ihren tieferen Sinn erweisen.

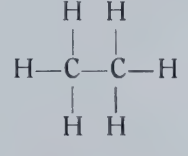
Die Strukturformeln beanspruchen nicht, Ausdruck und Abbild der räumlichen

Gliederung des Molekülaufbaus zu sein. Sie geben nur die Reihenfolge, nicht jedoch Lagerungen und Abstände der Atome an, und daher lassen sie sich rein schematisch auf der Ebene des Papiers niederschreiben. Stammsubstanzen wie das Wasser und etwa das Sumpfgas, von welchem sich in letzter Linie sämtlich organische Verbindungen ableiten, erhalten folgende Formeln:

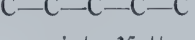


In allen Strukturformeln laufen von jedem Atomsymbol ebenso viele Striche aus, wie das betreffende Element wertig ist. Jedes Strichende deute eine Valenz an. Gleich dem Wasserstoff können auch andere Elemente, ja sogar ganze Molekülreste, angekettet werden, sofern sie nur die Bedingung erfüllen, einwertig zu sein. Diese angeketteten Teile werden Liganden (von ligare, binden) genannt und sind am Kohlenstoff im Normalen immer in der Vierzahl vorhanden.

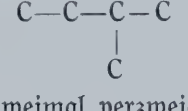
Das, was den Kohlenstoff von den anderen Elementen auszeichnet und ihn zum Urheber der unermeßlichen Fülle organischer Substanzen macht, ist die Fähigkeit seiner Atome, sich bereitwillig und innig aneinander zu ketten. Im Äthan



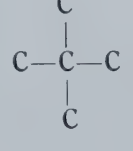
einem dem Sumpfgas ähnlichen farblosen Gas reihen sich zwei und im Pentan, einer sorgfältig gereinigten Benzinart, reihen sich fünf Kohlenstoffatome aneinander. Die Kette kann beliebig lang sein und dehnt sich im Hexacontan, das bis jetzt den extremsten Fall darbietet, auf 60 Atome aus. Dank der Vierwertigkeit des Kohlenstoffs sind zahlreiche Verzweigungen der Ketten und somit vielerlei Formelbilder möglich; jedes von diesen entspricht einer anderen Substanz und veranschaulicht ein anderes Isomeres. Die fünfgliedrige Kette des bereits angeführten Pentans gestattet dreierlei Anordnungen, so daß 3 Isomere von der Zusammensetzung C_5H_{12} auftreten. Schreiben wir unter Weglassung alles übrigen nur das Kohlenstoffskelett an, so ergibt sich aus eingehenden chemischen Untersuchungen für das normale Pentan die fortlaufende Kette:



für das Isopentan die einmal verzweigte Kette:



und für das Tertiärpentan die zweimal verzweigte Kette:



Je mehr Kohlenstoffatome sich an der Kettenbildung beteiligen, desto vielseitiger wird die Verzweigungsmöglichkeit und desto größer die Anzahl der Isomeren. Das Hexan C_6H_{14} tritt in 5 und das Dekan $C_{10}H_{22}$ in nicht weniger als 75 Isomeren auf.

Eine besonders feine Art der Isomerie, die über die Strukturformeln hinaus bestimmte räumliche Vorstellungen verlangt, ist die Stereoisomerie. Befinden sich um ein Kohlenstoffatom herum vier Liganden, die alle vier voneinander verschieden sind, so tritt die betreffende Substanz in zwei Formen auf, die sich zwar chemisch gleich, physikalisch aber entgegengesetzt verhalten. Beide Formen sind optisch aktiv; die eine dreht die Ebene des polarisierten Lichtes nach rechts, die andere nach links. Diese merkwürdige, chemisch sich kaum ausprägende Isomerie,

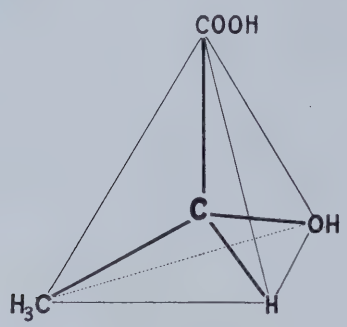


Abb. 111.

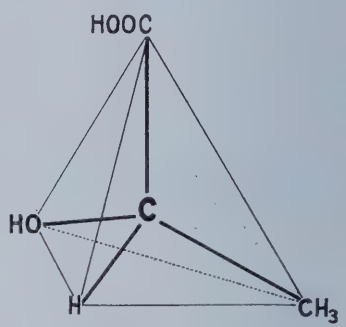
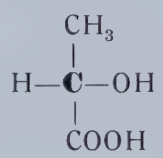


Abb. 112.

deren Ursache von Le Bel 1874 und von van't Hoff 1875 erkannt wurde, beruht auf der asymmetrischen Verteilung der Umgebung des Kohlenstoffatoms. Ein solches asymmetrisches Kohlenstoffatom ist z. B. in der Milchsäure:



vorhanden, welche, aus Fleischsaft gewonnen, polarisiertes Licht nach rechts dreht. Auf der Ebene des Papiers lassen sich aus der Formel, in welcher das asymmetrische Atom durch ein fetteres Schriftzeichen hervorgehoben ist, die räumlichen Verhältnisse nicht richtig ablesen. Um zu einer sachgemäßen Vorstellung zu gelangen, denken wir uns das Kohlenstoffatom als Mittelpunkt eines Tetraeders, in dessen vier Ecken die vier Liganden sitzen. Solange dieselben nicht alle voneinander verschieden sind, kann das Tetraeder mit seinem Spiegelbild zu Deckung gebracht werden. Wir haben nur eine einzige Konfiguration und nur eine einzige Substanz. Sobald jedoch die Liganden von ungleicher Natur sind, hört die Deckbarkeit auf. Wir haben jetzt zwei Konfigurationen; die eine entspricht der rechtsdrehenden, die andere der linksdrehenden Form. Diese Spiegelbildisomerie ist für die Milchsäure durch Abb. 111 und 112 veranschaulicht, die zeigen, daß zwischen den beiden Tetraedern analoge Verhältnisse herrschen wie zwischen einem rechten und einem linken Handschuh.

Die stereoisomeren Stoffe treten immer paarweise auf; in der Regel gesellt sich ihnen noch eine dritte Form hinzu, die sich optisch inaktiv verhält, aber nur eine Vereinigung der beiden anderen ist. Das tatsächliche Kennzeichen der Stereoisomerie ist die optische Aktivität, die indessen keine spezifische Eigentümlichkeit des Kohlenstoffs darstellt, sondern auch bei anderen Elementen, sofern sie asymmetrisch verbunden sind, angetroffen wird.

B. Die Kohlenwasserstoffe.

Die unerschöpfliche Mannigfaltigkeit der organischen Verbindungen ist am leichtesten zu überschauen, wenn wir eine Einteilung nach Stammsubstanzen und Abkömmlingen vornehmen. Von diesem Gesichtspunkt aus rückt in den Vordergrund die Klasse der Kohlenwasserstoffe, die Klasse jener Verbindungen, die nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff zusammengesetzt sind. Obwohl nur zwei Elemente als Baumaterial dienen, ist sie dennoch schon äußerst umfangreich und vielseitig im chemischen Charakter.

Die Ursubstanz, aus der wir die ganze Klasse ableiten können, ist das Methan CH_4, ein brennbares, farbloses und geruchloses Gas, das als Sumpfgas faulendem Schlamm und als Erdgas in Petroleumgegenden dem Boden entströmt. In Bergwerken entweicht es als Grubengas den Kohlen und ist, da es mit Luft ein Knallgas bildet, Ursache der gefürchteten schlagenden Wetter. Mit Wasserstoff vermengt tritt es uns im Leuchtgas entgegen, von dem es ungefähr ein Viertel bis ein Drittel ausmacht.

Das Methan ist das Anfangsglied einer Reihe homologer Kohlenwasserstoffe. Solche homologe Reihen, die wir bei allen Klassen organischer Verbindungen antreffen, kommen dadurch zustande, daß sich die Kohlenstoffkette mehr und mehr verlängert. Das Anwachsen der Kette läßt sich so denken, daß eines der Wasserstoffatome weggenommen und durch ein Methyl ersetzt wird. Aus dem Methan CH_4 leitet sich so das Dimethyl $CH_3—CH_3$, d. h. das Äthan C_2H_6 ab, aus diesem das Äthyl-methyl $C_2H_5—CH_3$, d. h. das Propan C_3H_8 usw. Von Substanz zu Substanz vergrößert sich das Molekül um CH_2, wodurch die allgemeine Formel C_nH_{2n+2} entsteht.

Die niederen Vertreter dieser sich vom Methan ableitenden homologen Reihe sind Gase; die höheren sind vom Pentan C_5H_{12} ab flüssige und vom Hexadekan $C_{16}H_{34}$ ab feste Körper. Sie zeichnen sich alle durch einen großen Widerstand gegen chemische Angriffe aus und reagieren sogar mit den sonst wirksamsten Mitteln kaum. Sie haben keine Neigung, sich mit anderen Stoffen umzusetzen oder zu verbinden; sie werden daher als gesättigt betrachtet und als Paraffine bezeichnet. Das Wort ist gebildet aus parum affinis, ohne Verwandtschaft. Paraffine kommen häufig und reichlich in der Natur vor, hauptsächlich in flüssigem Gemisch als Erdöl, oft auch in festem Zustande als Erdwachs. Produkte wie das Benzin, das Leuchtöl und das Handelsparaffin werden durch Destillation aus Erdöl, zum Teil auch aus Schieferöl und Braunkohlenteer gewonnen. Diese technischen Mineralöle sind aber chemisch nicht einheitlich, sondern stets Mischungen mehrerer Kohlenwasserstoffe.

Die Paraffine sind Substanzen, von denen jede einzelne eine Unmenge von Abkömmlingen, von sogenannten Derivaten, liefert. Diese Derivate entstehen auf dem

Wege des Ersatzes von Wasserstoff durch andere Elemente; so bilden sich bei der Substitution des Wasserstoffs durch Chlor aus dem Methan Verbindungen folgender Formeln:

$$CH_3Cl \qquad CH_2Cl_2 \qquad CHCl_3 \qquad CCl_4 .$$

Wasserstoffatom für Wasserstoffatom wird durch das gleichfalls einwertige Chloratom verdrängt. Von diesen Formeln gibt $CHCl_3$ die Zusammensetzung des Chloroforms, des bekannten Narkotikums, an und CCl_4 die des Tetrachlorkohlenstoffs, der als Benzinoform Anwendung findet. Die Substitution des Wasserstoffs durch Chlor beraubt die Kohlenstoffverbindungen ihrer leichten Brennbarkeit; die chlorreichen Chlorderivate sind völlig feuerungefährlich, und darauf gründet sich die Benützung des Tetrachlorkohlenstoffs und anderer Halogenverbindungen an Stelle des Benzins als Wasch- und Extraktionsmittel.

Ist schon bei den Kohlenwasserstoffen angesichts der Isomerie die Namengebung sehr schwierig, so wird sie durch Hinzuziehung der Derivate noch viel verwickelter. Um Einheitlichkeit hereinzubringen, tagte im Jahre 1892 in Genf ein internationaler Kongreß, der Regeln und eine Art Grammatik für die Nomenklatur der organischen Verbindungen aufstellte. Hiernach dienen zur Namengebung einerseits Silben, die den Grundcharakter, andrerseits Ziffern, die den Ort der Substitution im Molekül angeben. Die Kohlenwasserstoffe der Paraffinreihe erhalten die Endsilbe „an", so daß wir bei Anhörung des Namens sofort im Bilde sind, daß es sich um einen Vertreter dieser Reihe handelt. Der Namen wird vom Pentan an aufwärts gebildet, indem man der Endsilbe „an" das die Kohlenstoffatome bemessende ins Griechische übertragene Zahlwort vorsetzt. So bezieht sich der Name Oktan auf Paraffine von der Formel C_8H_{18}. Ist die Kette unverzweigt wie im normalen Oktan:

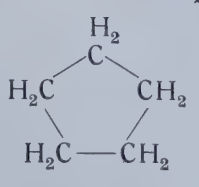
$$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3 ,$$

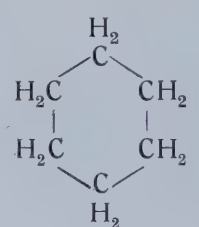
und tritt beispielsweise am dritten Kohlenstoffatom Substitution von Wasserstoff durch Chlor ein, so heißt die durch die Formel:

$$CH_3—CH_2—CHCl—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$$

ausgedrückte Verbindung 3-Chloroktan. Welche Konstitution und welche strukturellen Einzelheiten eine Substanz aufweist, ist bald durch Synthesen bald durch stufenweisen Abbau oft in recht mühseliger und langwieriger Arbeit zu ermitteln.

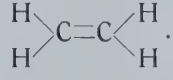
Die Endsilbe „an" wird auch für die Zykloparaffine gebraucht, für Kohlenwasserstoffe, die sich wohl im Charakter den Paraffinen völlig anschließen, aber weniger Wasserstoff als diese enthalten. Der Unterschied besteht in einem Abmangel von 2 Wasserstoffatomen, der davon herrührt, daß die Kohlenstoffketten nicht offen, sondern ringförmig geschlossen sind. Beispiele solcher Verbindungen zyklischer Struktur sind das Zyklopentan und das Zyklohexan:





Die Zykloparaffine haben die allgemeine Formel C_nH_{2n}. Ihre Isomerie ist sehr mannigfaltig, da zu jedem Ringsystem eigene und mehrere Reihen homologer Kohlenwasserstoffe gehören. Natürlich vorkommende Zykloparaffine sind die im galizischen Petroleum und in der kaukasischen Naphtha vorhandenen Naphthene.

Isomer zu den Zykloparaffinen, aber im Gegensatz zu ihnen hoch reaktionsfähig, sind die Olefine, Kohlenwasserstoffe, die wir als ungesättigt betrachten. Sie vereinigen sich bald leichter bald schwerer mit verschiedenerlei anderen Substanzen und sättigen sich auf diese Weise ab. Wird zur Absättigung Wasserstoff verwendet, so verwandelt sich das Olefin in ein Paraffin zurück. Gleich anderen Eigentümlichkeiten organischer Substanzen läßt sich auch der ungesättigte Charakter aus der Strukturformel ablesen; er drückt sich durch das Vorhandensein einer Doppelbindung aus, nämlich dadurch, daß zwei Partner nicht durch je eine, sondern durch je zwei Valenzen sich aneinanderketten. Das einfachste Olefin ist das gasförmige Äthylen C_2H_4 das folgende Strukturformel hat:



Wasserstoffgas verwandelt das Äthylen, das aus Alkohol C_2H_5OH durch Absprengen von Wasser hergestellt werden kann, in Gegenwart von Platinschwamm oder heißem Nickel unter Aufhebung der Doppelbindung in Äthan.

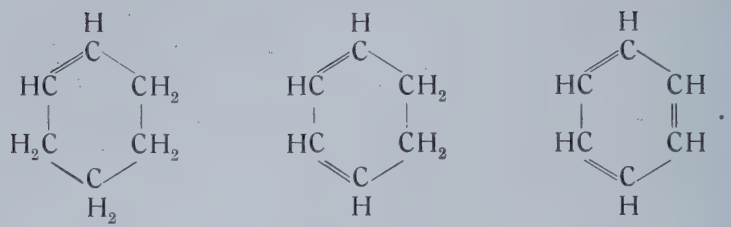
Kohlenwasserstoffe, die Doppelbindungen in sich bergen, erhalten im Namen die Endsilbe „en". So sprechen wir von Hexen C_6H_{12}, oder, falls mehrere Doppelbindungen vorhanden sind, von Hexadien C_6H_{10} und Hexatrien C_6H_8. Die Doppelbindungen machen die Substanzen reaktionsfähig und sind diejenigen Stellen des Moleküls, wo das Kohlenstoffskelett verletzbar ist. Chemische Eingriffe, sofern sie nicht den gesättigten Zustand herbeizuführen vermögen, zerreißen die Kette an dieser Stelle. Gegenüber der einfachen Bindung ist also die Doppelbindung eine viel weniger innige Verknüpfungsart. Hierin äußert sich die hinter der Valenz verborgene Naturkraft in einer Weise, für welche es einen grobsinnlichen Vergleich nicht gibt.

Noch höher ungesättigt sind die Substanzen mit einer dreifachen Bindung, welche zur Aufhebung 4 Wasserstoffatome erfordert. Hier ist das Azetylen C_2H_2 zu nennen, ein Gas, das aus Kalziumkarbid mit Wasser leicht bereitbar und folgendermaßen konstituiert ist:

$$H—C\equiv C—H\,.$$

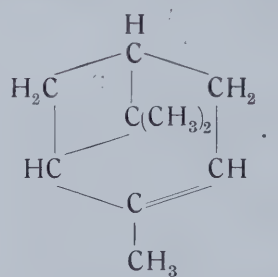
Die dreifache Bindung macht das benachbarte Wasserstoffatom beweglich und ersetzbar durch Metall, so daß das Azetylen an Säuren erinnert. Ein solches Metallderivat ist das Kalziumkarbid CaC_2. Die dreifache Bindung verleiht große Reaktionsfähigkeit und bedeutet eine derart hohe Auflockerung der Verknüpfung, daß das Azetylen zum Selbstzerfall neigt und explosiven Charakter hat. Bei Zündung durch Knallquecksilber detoniert es. Auch sein Kupfer- und Silberderivat sind äußerst explosiv. Das Azetylen bildet das Anfangsglied einer homologen Reihe, welche der Reihe der Dien-Kohlenwasserstoffe isomer ist und im Namen die Endsilbe „in" hat.

Auch zyklische Substanzen können ungesättigt sein, jedoch treten hier wichtige und völlig neuartige Verhältnisse in Erscheinung. Vom Zyklohexan leiten sich durch Einfügen von Doppelbindungen Substanzen folgender Konstitution ab:



Von diesen verhalten sich die erste und die zweite, nämlich das Zyklohexen und das Zyklohexadien, regelrecht, wie es von Zyklooleſinen zu erwarten ist. Die dritte dagegen hat ganz andere Eigenschaften und setzt trotz des hohen Abmangels von sogar 6 Wasserstoffatomen ihrer Absättigung große Hemmungen entgegen. Die Doppelbindungen haben gerade dadurch, daß sie zu dritt dem Sechsring einverleibt sind, den wahren Charakter verloren und führen gewissermaßen nur eine Scheinexistenz. Sie machen in diesem Zustand die Substanz relativ gesättigt, verleihen ihr aber andere neue Reaktionsmöglichkeiten. Mit ihr betreten wir das riesenhafte Gebiet der aromatischen Verbindungen; sie ist die Grundsubstanz derselben, das Benzol, die wohlbekannte farblose Flüssigkeit. Das Wort aromatisch hat hier nur historische Berechtigung und heute mit dem Geruch der Stoffe nicht das geringste mehr zu tun. Es bedeutet Zugehörigkeit zur Benzolreihe und bezieht sich auf die für diese Reihe typischen Eigenschaften.

Viele zyklische Kohlenwasserstoffe bauen sich aus mehr als nur einem einzigen Ring auf, und manchmal sind in diesen polyzyklischen Verbindungen die Ringe regelrecht ineinander hineingeschachtelt, wie dies z. B. beim Pinen der Fall ist:



Dieses Pinen ist der wesentliche Bestandteil des Terpentinöls und ein Vertreter der umfangreichen Reihe der Terpene, in Pflanzen sehr verbreitete Kohlenwasserstoffe der Formel $C_{10}H_{16}$. Die Terpene sind teils monozyklisch wie das Limonen des Zitronen- und Pomeranzenschalenöls, teils bizyklisch wie das eben erwähnte Pinen und das Kampfer nahestehende Camphen. Die meisten ätherischen Öle enthalten solche Terpene, denen auch der Kautschuk, das Milchsaftprodukt tropischer Bäume, verwandt ist.

C. Die organischen Sauerstoffverbindungen.

Weitaus die Mehrzahl der organischen Verbindungen sind keine Kohlenwasserstoffe, sondern verwickelter zusammengesetzte Substanzen, die außer Kohlenstoff und Wasserstoff noch andere Elemente enthalten. Vorwiegend kommen Sauerstoff und Stickstoff in Betracht, Elemente, deren Atome dank Besitz mehrerer Valenzen als

wichtige, vielseitig brauchbare Bausteine neben den Kohlenstoffatomen dienen können. Die Gesamtheit der organischen Verbindungen, aus wie viel Elementen sie auch bestehen mögen, teilen wir je nach der Struktur in folgende Hauptreihen ein:

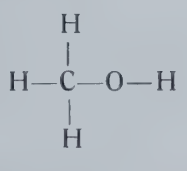
1. Die azyklischen Verbindungen, auch aliphatische genannt, weil sie in engerer oder loserer Fühlung mit den Fetten stehen (ἀλοιφή, Fett). Die aliphatische oder Fettreihe umfaßt alle Stoffe mit offener Kohlenstoffkette, ungeachtet, ob sie tatsächlich Fette sind oder nicht.

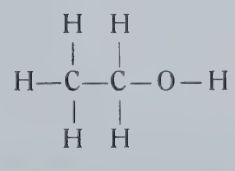
2. Die isozyklischen Verbindungen. Gekennzeichnet durch das Vorhandensein eines Rings, der aber nur aus Kohlenstoffatomen aufgebaut ist. Hierher gehören einerseits die Reihe der Zykloparaffine und der Zykloolefine, andrerseits die aromatische Reihe, also das Benzol und seine Derivate.

3. Die heterozyklischen Verbindungen. Zyklisch konstituierte Verbindungen bei denen jedoch am Aufbau des Rings neben Kohlenstoff auch andere Elemente teilnehmen.

Wenden wir uns zuerst der aliphatischen Reihe zu, so liegt nahe, nachdem wir bereits die Kohlenwasserstoffe kennengelernt haben, zunächst auf deren Sauerstoffderivate einzugehen, denn die Fette sind solche. Wir gelangen zu diesen Derivaten, wenn wir uns vorstellen, daß Wasserstoffatome durch Sauerstoff substituiert werden; da aber der Sauerstoff ein zweiwertiges Element ist, so kann der Ersatz auf mehrfache Weise erfolgen und zu ganz verschiedenartigen Substanzen führen. Wir stoßen damit auf die großen Klassen der Alkohole, Äther, Ester, Aldehyde, Ketone und der organischen Säuren.

Die Alkohole sind Derivate, bei denen ein Wasserstoffatom durch ein Hydroxyl ersetzt ist, welche, wie die nachstehenden Formeln für den Methyl- und den Äthylalkohol zeigen:





als Hydroxyde der Alkyle erscheinen. Der eingetretene Sauerstoff hat sich zwischen Kohlenstoff und einem Wasserstoffatom eingezwängt und das letztere vom Kohlenstoffskelett abgedrängt. Dieses eine Wasserstoffatom verhält sich durchaus anders wie sämtliche übrigen, noch am Skelett haftenden. Zum Unterschied von ihnen ist es durch Reaktionsfähigkeit ausgezeichnet und der Urheber des alkoholischen Charakters der Substanz. Nach der internationalen Nomenklatur ist den Alkoholen die Endsilbe „ol" vorbehalten; sie wird dem Namen desjenigen Kohlenwasserstoffs angehängt, als dessen Hydroxylderivat der betreffende Alkohol erscheint. Der Methylalkohol heißt demnach Methanol und der Äthylalkohol Äthanol.

Das Anfangsglied der wichtigsten Reihe homologer Alkohole und zugleich deren einfachster Vertreter ist der Methylalkohol, eine farblose, leicht verdampfende Flüssigkeit, die aus Holzessig gewonnen und daher auch Holzgeist genannt wird. Sie riecht ähnlich wie der Weingeist, berauscht aber stärker und ist viel giftiger. Der gewöhnliche Alkohol, der Weingeist, bildet das nächsthöhere Homologe und ist Äthylalkohol. Er entsteht auf dem Wege der Gärung in zuckerhaltigen Flüssigkeiten und wird daraus

durch Brennen, d. h. durch Destillieren zunächst noch mit Wasser vermischt als Spiritus oder Branntwein abgeschieden. Vollständig von Wasser befreit, führt er die Bezeichnung absoluter Alkohol. Er ist im Wein, Bier und anderen gegorenen Getränken enthalten und macht deren flüchtiges und berauschendes Prinzip, deren Geist, aus, von dem man schon seit den ältesten Zeiten wußte, den man aber erst im 12. Jahrhundert nach Erfindung der Destillation als Substanz erkannte und fassen konnte. Die Benennung Alkohol taucht im 16. Jahrhundert auf und geht auf Paracelsus zurück.

Bei der Gärung von Zuckerlösungen entstehen mit dem Weingeist zugleich noch andere, ihm homologe Alkohole, die bei der Destillation der vergorenen Flüssigkeit in den höher siedenden Nachlauf, in das Fuselöl, gehen. Im Fuselöl finden sich der normale Propylalkohol $CH_3—CH_2—CH_2—OH$, der Isobutylalkohol $(CH_3)_2CH—CH_2 \cdot OH$ und insbesondere der Isoamylalkohol $(CH_3)_2CH—CH_2—CH_2 \cdot OH$, der zur Ursache der schweren Giftwirkung beim Branntweinrausch werden kann. Das Fuselöl ist selbstverständlich nicht die einzige Quelle zur Gewinnung von Alkoholen; viele stellen wir aus pflanzlichen und tierischen Produkten her, und andere bereiten wir künstlich auf synthetischem Wege. Dabei treten, wie die Theorie es voraussieht, Isomere auf, die um so zahlreicher werden, je höher wir in den homologen Reihen aufsteigen. Die Isomeriefälle sind mannigfaltiger als bei den Kohlenwasserstoffen, denn sie beruhen nicht bloß auf der Verästelung der Kohlenstoffkette sondern auch auf der Verschiedenheit der Orte, an welchen das Hydroxyl sitzt.

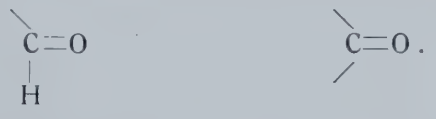
Je nachdem sich das Hydroxyl in der Gruppierung $CH_2 \cdot OH$ oder $CH \cdot OH$ oder $C \cdot OH$ vorfindet, sprechen wir von einem primären, sekundären oder tertiären Alkohol. Die oben aufgezählten Vertreter sind durchweg primäre Alkohole. Sekundäre sind vom Propylalkohol und tertiäre vom Butylalkohol ab möglich, wofür als Belege der Isopropylalkohol $CH_3—CH(OH)—CH_3$ und das Trimethylkarbinol $(CH_3)_3C \cdot OH$ angeführt seien. Die Tatsache, daß je nach dem Ort des Hydroxyls oder, allgemein gesprochen, je nach dem Ort des Substituenten mehrere Substanzen auftreten, ist ein häufig anzutreffender Isomeriefall, den man als Ortsisomerie bezeichnet.

Die Alkohole sind Ausgangspunkte für die Darstellung vieler anderer Stoffe. Durch geeignete Wasserabspaltung entstehen aus ihnen die Äther, die als Oxyde der Alkyle aufgefaßt werden können. Aus dem Weingeist bildet sich der gewöhnliche Äther $(C_2H_5)_2O$, der der ganzen Klasse den Namen gegeben hat und der genauer als Äthyläther anzusprechen ist. Früher wurde er auch Schwefeläther und Vitrioläther genannt, weil man irrigerweise annahm, daß die mit Schwefelsäure vorgenommene Darstellung eine Einverleibung von Schwefel bedeute. Der Äthyläther ist eine ätherisch riechende, leicht bewegliche und farblose, sehr flüchtige Flüssigkeit, die unter starker Kälteentwicklung rasch verdunstet und dabei in entzündbare, feuergefährliche Dämpfe übergeht. Seine Verwendung zu Hoffmannstropfen und zu Narkosen ist bekannt.

Durch Umsetzung mit Säuren verwandeln sich die Alkohole in Ester, in Substanzen, die wir bis zu einem gewissem Grade in Parallele zu den Salzen stellen können. Das Alkyl ersetzt den vertretbaren Wasserstoff der Säure, und auf diese Weise liefert der Weingeist z. B. mit Salpetersäure das Äthylnitrat, den Salpetersäureäthylester $C_2H_5NO_3$. Die meisten Ester sind farblose Flüssigkeiten von an-

genehmem Geruch, gegenüber Indikatoren völlig neutral und in Alkohol und Säure wieder leicht rückwärts spaltbar. Diese Zurückverwandlung bezeichnen wir als Verseifung. Die Analogie der Ester mit den Salzen ist nur rein formal und nicht tatsächlich. So wenig die Alkohole trotz ihres Hydroxyls Basen sind, so wenig sind die Ester Salze. Weder die einen noch die anderen leiten den elektrischen Strom; sie sind keine Elektrolyte und frei von Ionen. Die Alkyle haben keine Spur einer Neigung zum Ionenzustand, und daher der Mangel jeglicher elektrolytischer Dissoziation. Die Alkohole enthalten keine Hydroxylionen und die Ester keine Säureionen, die Salpetersäureester also keine Nitrationen.

Oxydationsmittel verändern die Alkohole mehr oder weniger tiefgreifend. Gemäßigte Oxydation führt sie in eigentümliche, oxydartige Substanzen über, welche den Sauerstoff in Doppelbindung an Kohlenstoff enthalten und hierdurch gesteigerte und besondere Umsetzungsfähigkeit erlangen. Die primären Alkohole werden zu Aldehyden und die sekundären zu Ketonen oxydiert. Die Aldehyde beherbergen den Sauerstoff in der ersten nachstehenden Gruppierung und die Ketone in der zweiten:

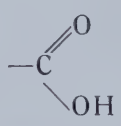


Der scheinbar nur geringfügige Unterschied, daß das eine Mal am Sauerstoff bindenden Kohlenstoff noch Wasserstoff haftet, das andere Mal nicht, ist bedeutungsvoll und bewirkt, daß die Aldehyde die Ketone in hohem Grad an Reaktionsfähigkeit übertreffen. Die internationale Nomenklatur kennzeichnet die Aldehyde durch die Endsilbe „al" und die Ketone durch die Endsilbe „on".

Oxydation des Weingeistes ergibt den Azetaldehyd CH_3—CHO, Äthanal, eine äußerst leicht verdunstende, farblose Flüssigkeit mit gewürzhaftem, aber zugleich atembeklemmendem Geruch. Sie hat der ganzen Klasse den Namen, der aus Alkohol dehydrogenatum zusammengezogen ist, gegeben. Ihr nahestehend ist das von Liebig 1832 entdeckte Chloral, das einen gechlorten Azetaldehyd darstellt und mit Wasser verbunden im Chloralhydrat als Schlafmittel wirkt. Von den Ketonen sei das Azeton CH_3—CO—CH_3, Propanon, angeführt, wasserhell aussehend und ätherisch riechend; es findet sich im rohen Holzgeist und im Harn Zuckerkranker. Der einfachste und merkwürdigste Vertreter aller dieser Substanzen ist der Formaldehyd HCHO, Methanal, ein farbloses, stechend riechendes Gas, dessen wäßrige Lösung als Formol oder Formalin in den Handel kommt. Die Lösung hinterläßt beim Eindampfen eine weiße Masse, den Paraformaldehyd, der durch Zusammenballung mehrerer Moleküle zu einem größeren, durch Polymerisation, entsteht, sich aber bei starkem Erhitzen durch Depolymerisation wieder in das Gas zurückverwandelt. Der Formaldehyd ist ein stark wirksames, desinfizierendes und antiseptisches Mittel und chemisch hoch reaktionsfähig. Durch Alkalien entstehen aus ihm zuckerartige Stoffe, so daß wir nach der Ansicht von Baeyer annehmen, daß beim Assimilationsvorgang in den Pflanzen die Kohlensäure zunächst in Formaldehyd übergeht.

Die Aldehyde sind sehr oxydabel und nehmen schon beim Stehen an der Luft Sauerstoff auf. Sie werden sauer und gehen in dieselbe Säure über, in die wir die primären Alkohole durch kräftigere Oxydation auch unmittelbar verwandeln können.

Wir dringen damit in das Gebiet der organischen Säuren ein und begegnen so den Karbonsäuren, der Ameisensäure, dem Oxydationsprodukt des Holzgeistes und des Formaldehyds, und der Essigsäure, dem Oxydationsprodukt des Weingeistes und des Azetaldehyds. Die Karbonsäuren sind charakterisiert durch das Vorhandensein des Karboxyls, einer Atomgruppe von der Struktur:



und ausgesprochen sauren Eigenschaften. Das im Karboxyl anwesende Wasserstoffatom ist zum Unterschied von allen übrigen des Moleküls ionisierbar und durch Metalle vertretbar. Der offizielle Namen der Karbonsäuren wird durch Anhängen des Wortes „säure" an den des zugehörigen Kohlenwasserstoffes gebildet.

Die Ameisensäure HCOOH, Methansäure, acidum formicicum, ist die einfachste Karbonsäure und das Anfangsglied einer wichtigen und großen Reihe homologer Säure, der Fettsäuren. Sie ist eine ätzende, ähnlich wie Salzsäure riechende farblose Flüssigkeit, welche in Ameisen und Brennesseln vorkommt und beim Stechen durch diese die brennenden Schmerzen hervorruft. Technisch wird sie aus Kohlenoxyd CO gewonnen, das man unter Druck zuerst mit Alkali zu einem Formiat, zu einem ameisensauren Salz, verbindet. Die Essigsäure CH_3COOH, Äthansäure, acidum aceticum, in Essig zu 3—6% enthalten, bildet im wasserfreien Zustand den Eisessig, eine weiße blättrige Kristallmasse, die schon bei 16,5°, also bei Zimmertemperatur, schmilzt. Sie wird aus dem bei der Holzverkohlung anfallenden Holzessig bereitet. Der gewöhnliche Essig entsteht beim Sauerwerden von Wein und Bier durch Gärung des Weingeistes. Die Salze der Essigsäure heißen Azetate. Von den höheren Homologen sind die Palmitinsäure $C_{15}H_{31}COOH$ und die Stearinsäure $C_{17}H_{35}COOH$ hervorzuheben, die in Form von Kerzenmaterial wohlbekannt sind. Ihnen schließt sich, aber sich von einem ungesättigten Kohlenwasserstoff ableitend, die Ölsäure $C_{17}H_{33}COOH$ an, ein farbloses, geruchloses und geschmackloses Öl, das an der Luft sich bräunt und ranzig wird. Die Alkalisalze dieser drei Säuren sind die Seifen, von welchen die festen die Natronsalze und die Schmierseifen die Kalisalze darstellen. Die Kalksalze sind in Wasser unlöslich und scheiden sich als Gerinnsel aus, wenn Seifen in hartem Wasser gelöst werden.

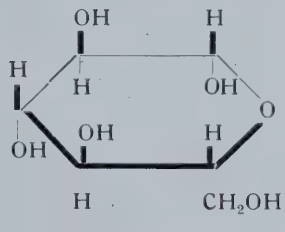
Die Karbonsäuren verbinden sich mit Alkoholen zu Estern, die sich häufig durch Wohlgeruch auszeichnen und in der Parfümerie Verwendung finden. Hervorragende Wichtigkeit kommt den Estern zu, die der dreifache Alkohol Glyzerin einzugehen vermag. Tierische und pflanzliche Fette und Öle wie Talg, Schmalz, Butter und Olivenöl bestehen im wesentlichen aus Glyzerinestern der Palmitin-, Stearin- und Ölsäure. Diese Ester, die zum Teil hochwertige Nahrungsmittel sind, liefern bei der Spaltung mit Alkalien einerseits das fettsaure Alkali, die Seife, andrerseits das Glyzerin. Dieses von Scheele 1779 entdeckte und von ihm Ölsüß genannte Produkt ist Propantriol $CH_2(OH)—CH(OH)—CH_2(OH)$ und bildet einen dicken, farblosen, süß schmeckenden Sirup, der vielfache technische Anwendung findet. Sein Salpetersäureester, Nitroglyzerin genannt, ist ein Öl, das durch Schlag und Stoß mit furchtbarer Gewalt explodiert. Der von Nobel 1864 entdeckte Dynamit ist mit ihm getränkte

Kieselgur und gegen Stoß unempfindlich, kann aber mit Hilfe von Knallquecksilber enthaltenden Zündhütchen zur Explosion gebracht werden.

Durch Eintritt von Substituenten in die Fettsäuren kommen neue Reihen von Säuren zustande. Ist Hydroxyl eingeführt, so haben wir es mit den Oxysäuren zu tun, die mit ihren sauren Eigenschaften die eines Alkohols vereinen; beispielsweise die im Sauerkraut nachweisbare und durch Gärung aus Zucker herstellbare Milchsäure, in der wir Oxypropionsäure CH_3—CH(OH)—COOH, eine Propanolsäure, erblicken müssen. Weitere Reihen treten uns in den mehrbasischen Säuren entgegen. Die als Salz im Sauerklee vorkommende Oxalsäure — weiße Kristalle, die technisch durch Schmelzen von Sägespänen mit Alkalien bereitet werden — ist die einfachste zweibasische organische Säure und als Äthandisäure $(COOH)_2$ anzusprechen. Die aus dem Weinstein abscheidbare Weinsäure ist eine zweibasische und die in Zitronen und Preißelbeeren enthaltene Zitronensäure eine dreibasische Oxysäure.

Den Fetten an Bedeutung als Nahrungsmittel gleichkommend sind die Kohlehydrate, Substanzen, welche Sauerstoff und Wasserstoff in demselben Verhältnis wie das Wasser enthalten. Ihre Zusammengehörigkeit wird im Namen durch die Endsilbe „ose" ausgedrückt, und so sind die Pentosen Kohlehydrate von der Formel $C_5H_{10}O_5$ und die Hexosen solche von der Formel $C_6H_{12}O_6$. Sie besitzen alkoholartigen Charakter, denn der größere Teil ihres Sauerstoffgehalts ist in Form von Hydroxylen einverleibt. Hauptvertreter sind die von der Natur in vielen Isomeren dargebotenen Zucker. Der im Saft süßer Früchte vorkommende Traubenzucker, die Glukose, ist eine Hexose, bei der sich der Sauerstoffgehalt nach der einfachsten Vorstellung in fünf Hydroxylen und einer Aldehydgruppierung auf die sechsgliedrige Kohlenstoffkette verteilt. Dieser Aufbau schafft mehrere asymmetrische Kohlenstoffatome, und infolgedessen ist der Traubenzucker optisch aktiv; er dreht die Ebene des polarisierten Lichts nach rechts und wird daher auch als Dextrose bezeichnet. Ihm stereoisomer und von ihm durch das Drehungsvermögen unterschieden sind die aus Milchzucker darstellbare Galaktose und die aus Steinnußsamen und aus Mannit erhältliche Mannose. Eine Hexose anderer Isomerieart ist die Fruktose, der Fruchtzucker, der neben der Glukose sich in Früchten und im Honig findet. Er birgt ebenfalls fünf Hydroxyle; das sechste Sauerstoffatom ist aber nicht aldehyd- sondern ketonmäßig gebunden. Er dreht das polarisierte Licht nach links und heißt daher auch Lävulose. Die Hexosen sind gärungsfähig; Hefepilze erzeugen aus ihnen Weingeist und gewisse Bakterien Milchsäure. Die Hauptaufklärung über die chemische Konstitution der Zucker verdanken wir Emil Fischer, dem im Jahre 1890 die Synthese von Glukose und anderen Hexosen gelang.

Nach neueren Forschungen ist die Kohlenstoffkette der Zucker durch Sauerstoff ringförmig geschlossen und dadurch die Aldehyd- und Ketonnatur verschleiert. Haworth hat nachgewiesen, daß der Traubenzucker einen Sechsring enthält und folgenden räumlich zu denkenden Formelbild entspricht, in welchen die dickeren



Striche die Vorderseite und die Oberseite hervorheben. Die Ecken des Sechsrings sind durch fünf Kohlenstoffatome, die nicht angeschrieben sind, und durch ein Sauerstoffatom gebildet. Konstituiert nach dieser oder einer ähnlichen Glukoseformel ist der Traubenzucker Bestandteil anderer Zucker und verschiedenartigster sonstiger Pflanzenprodukte.

Der gewöhnliche Zucker ist der aus dem Zuckerrohr oder aus der Zuckerrübe stammende Rohrzucker, die Saccharose $C_{12}H_{22}O_{11}$, die eine Verbindung von Glukose mit Fruktose darstellt. Die Zerlegung in diese beiden Hexosen läßt sich leicht mit Hilfe von Säuren durchführen, und das so entstehende Gemisch dient als Kunsthonig. Die gleiche Formel $C_{12}H_{22}O_{11}$ hat der Malzzucker, die Maltose, welche bei der Malzbereitung aus Getreide sich bildet und durch Säuren in Glukose zerfällt.

Kohlehydrate größter Wichtigkeit sind die Stärke und die Zellulose, deren Zusammensetzung kompliziert ist und einem Vielfachen der Formel $C_6H_{10}O_5$ entspricht. Die Stärke ist das Produkt, in welches die von den Pflanzen durch das Chlorophyll assimilierte Kohlensäure übergeht, und der Hauptbestandteil der Kartoffeln, des Mehls und des Brots. Mit Wasser verrührt und verkocht, verkleistert sie. Der Kleister wird durch Zusatz von Säuren wieder dünnflüssig, indem sich die Stärke abbaut und über Dextrin und Maltose in Traubenzucker verwandelt, der auf diese Weise technisch dargestellt wird. Der Abbau zur Maltose vollzieht sich auch unter dem Einfluß der Diastase, einem beim Keimen von Getreidekörnern entstehenden, noch nicht faßbar gewesenen Stoff, der in den Malzauszug geht und unvergleichlich große Mengen Stärke zu zerlegen vermag. Die Diastase gehört zu den Fermenten oder Enzymen, zu jenen in Organismen auftretenden Substanzen, die bestimmte chemische Wirkungen, Gärungen und dergleichen auslösen.

Die Zellulose, der Zellstoff, ist das in der Pflanzenwelt verbreitete Material, aus dem die die Zelle umschließende Haut besteht. Das Holz und die vegetabilischen Gespinstfasern, wie Baumwolle und Flachs, sind Zellulose in verschiedenem Grad der Reinheit. Watte und Filtrierpapier stellen sie nahezu ganz rein dar.

Wie auf chemischem Wege und durch Untersuchung mit Röntgenstrahlen erwiesen, baut sich die Zellulose aus zahlreichen Glukoseringen auf, von denen einer an den anderen sich reiht, so daß das ganze Molekül die Gestalt einer sehr langen geradlinigen Kette hat. Jeder dieser Bausteine ist entsprechend der oben gegebenen ringförmigen Glukoseformel konstituiert und haftet in der langen Kette an seinem linken und rechten Nachbar durch chemische Kräfte fest. Eben diese Ausbildung langgestreckter Moleküle ist die wahre und tiefere Ursache, die die Faserstruktur und die Fasereigenschaften bedingt.

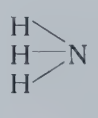
Die Zellulose ist in Wasser vollständig unlöslich, und auch darauf beruht zum guten Teil ihre praktische Eignung. Zur menschlichen Nahrung taugt sie wegen Unverdaulichkeit nicht. Dank ihres Alkoholcharakters vermag sie Ester zu bilden. Mit Salpetersäure liefert sie die Nitrozellulose, Schießbaumwolle und Kollodiumwolle, Ausgangsmaterial für die Herstellung einerseits von rauchlosem Schießpulver, andererseits von Kunstseide. Mit Kampfer vermengt bildet die Nitrozellulose das formbare Zelluloid. Die Azetatseide ist der zu Fäden gezogene Essigsäureester der Zellulose, und andere Kunstseiden werden fabriziert, indem man mittels Kupferoxydammoniak oder mittels Schwefelkohlenstoff die Zellulose zu spinnbaren Flüssigkeiten löst.

D. Die organischen Stickstoffverbindungen.

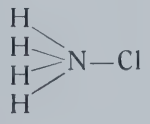
Sind die organischen Säuren vorwiegend Sauerstoffverbindungen, so sind die organischen Basen vornehmlich Stickstoffverbindungen. Die stickstoffhaltigen Basen ähneln mehr oder weniger dem Ammoniak; sie bedeuten seine Verpflanzung ins Gebiet der organischen Chemie und entpuppen sich als Substitutionsprodukte von ihm, wie der große deutsche Chemiker A. W. Hofmann in bahnbrechenden und grundlegenden Untersuchungen im Jahre 1849 klarstellte. Dadurch, daß der im Ammoniak NH_3 gebundene Wasserstoff teilweise oder ganz durch organische Radikale ersetzt wird, entstehen jene Basenarten, die wir Amine nennen. Führen wir das Alkoholradikal Methyl als Substituenten ein, so erhalten wir zunächst das Methylamin $(CH_3)NH_2$, eine primäre Aminbase, dann das Dimethylamin $(CH_3)_2NH$, eine sekundäre und schließlich das Trimethylamin $(CH_3)_3N$, eine tertiäre Aminbase. Die Amine werden in der Regel synthetisch gewonnen, doch begegnen wir ihnen oft auch in der Natur. So findet sich das Trimethylamin, eine schon bei $+4^0$ siedende farblose Flüssigkeit von durchdringendem ammoniakalischem und fischartigem Geruch, im Kraute von Gänsefuß und Wohlverleih und in den Blüten des Apfelbaums und Weißdorns. Es ist in der nach ihm riechenden Heringslake vorhanden, und in großen Mengen entsteht es beim Erhitzen der Schlempe, einem Abfallprodukt der Rübenzuckerfabriken.

Die Amine vermögen sich analog dem Ammoniak unmittelbar mit Säuren zu vereinigen und auf diese Weise Salze zu bilden. Wir betreten damit den Bereich der organischen Ammoniumsalze, die sich den anorganischen ungezwungen anreihen und sich von ihnen nur dadurch unterscheiden, daß das Kation nunmehr ein komplizierter aufgebautes, kohlenstoffhaltiges Ammonium ist. So liefert das Trimethylamin mit Salzsäure das Trimethylammoniumchlorid $NH(CH_3)_3 \cdot Cl$, eine Art Salmiak, in dem drei Wasserstoffatome des Ammoniums NH_4 durch Methyle ersetzt sind. Im Ammonium besteht also noch wie im Ammoniak eine Substituierbarkeit des Wasserstoffs, die sich sogar auf das vierte Wasserstoffatom ausdehnt, obwohl dieses, weil aus der Säure stammend, mit dem Ammoniak nichts mehr zu tun hat. Das Tetramethylammoniumchlorid $N(CH_3)_4 \cdot Cl$, ein vierfach methylierter Salmiak, ist ein Beispiel hierfür. Aus derartigen vierfach alkylierten Salzen läßt sich die zugehörige Base in der Hydroxydform, also in unserem Beispiel das Tetramethylammoniumhydroxyd $N(CH_3)_4 \cdot OH$ abscheiden. Diese Ammoniumbasen sind feste weiße Körper, welche im Gegensatz zu dem Ammoniak und den Aminen äußerst starke, mit den Ätzalkalien vergleichbare Basen darstellen und so den gewissermaßen künstlich erschaffenen Alkalimetallcharakter des Ammoniums erst ins volle Licht rücken.

Die strukturchemischen Lehren sehen im Stickstoff den typischen Vertreter eines Elements wechselnder Wertigkeit und betrachten ihn im Ammoniak und in den Aminen als dreiwertig, in den Ammoniumbasen und den Ammoniumsalzen als fünfwertig. Die Formeln:



und



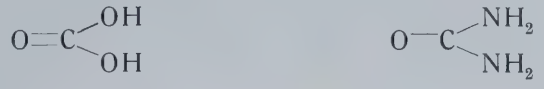
bringen dies zum Ausdruck und verknüpfen mit sich die Vorstellung, daß die Fähigkeit des Ammoniaks zur Säureanlagerung und Salzbildung gerade auf der Möglichkeit des Wertigkeitssprungs von 3 auf 5 beruht. Indem sich das Wasserstoffion der Säure an den Stickstoff kettet, schafft es die für das Auftreten und die Beständigkeit der höheren Wertigkeitsstufe erforderlichen Verhältnisse. In den organischen Abkömmlingen ist die Sachlage im wesentlichen die gleiche, nur daß eben die Funktionen der Wasserstoffatome hier von Alkylen ausgeübt werden. Solche zu Salzen führenden Wertigkeitserhöhungen gelten nicht als eine Neuschöpfung von Valenzen, sondern lediglich als eine Aufdeckung und Inanspruchnahme verkappter schon vorhandener; sie werden auch bei anderen Elementen, etwa beim Phosphor angetroffen, so daß der Stickstoff durchaus nicht als irgendeine Ausnahme erscheint.

Von den fünf Valenzen des Ammoniumstickstoffs ist eine und zwar diejenige, welche das Säureanion fesselt, von besonderer Natur und grundverschieden von den vier übrigen, die unter sich völlig gleichartig sind. Sie ist es, welche die an die Alkalionen erinnernde Beschaffenheit des Ammoniums hervorruft und den Kationzustand desselben ermöglicht und bewirkt. Sie bindet nicht nach Art einer Kohlenstoffvalenz, sondern nach Art einer Metallvalenz und wird so zum Ursprung der Ionisierbarkeit sämtlicher Ammoniumbasen und -salze. Sie wird kurz als Ammoniumvalenz bezeichnet.

Die vier anderen Valenzen des Ammoniumstickstoffs bieten keine Auffälligkeit dar. Sie wirken sich räumlich, unter völliger Außerachtlassung der Ammoniumvalenz, genau in der gleichen Weise wie die vier Valenzen des Kohlenstoffs aus und verteilen wie diese die vier Liganden in die Ecken eines umschriebenen Tetraeders. Handelt es sich um Ammoniumsalze mit viererlei, voneinander verschiedenen Alkylen, so scheiden alle sonst möglichen Symmetriefälle der tetraedrischen Anordnung aus. Wir haben nun ein asymmetrisches Stickstoffatom und können die Existenz optisch aktiver Substanzen und die Spaltbarkeit des Salzes in entgegengesetzt drehende Antipoden voraussagen. Diese für die Vertiefung und Ausgestaltung der Ammoniumtheorie bedeutungsvolle Tatsache wurde im Jahre 1891 von Le Bel entdeckt.

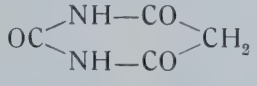
Außer den Aminen und Ammoniumverbindungen leiten sich noch zahlreiche andere Substanzen vom Ammoniak ab. Um rasch zu einem Überblick zu gelangen, greifen wir den Ammoniakrest NH_2, die Aminogruppe, heraus und setzen sie in Parallele zu dem gleichfalls einwertigen Hydroxyl OH. Jeder Hydroxylverbindung entspricht eine Aminoverbindung, denn die Aminogruppe und das Hydroxyl können einander lückenlos vertreten. So entspricht dem Methylalkohol CH_3—OH das Methylamin CH_3—NH_2 und überhaupt der homologen Reihe der Alkohole die der primären Amine. Alle Isomeriebeziehungen der einen Reihe wiederholen sich in jeglichen Einzelheiten in der anderen. Derselbe Parallelismus zeigt sich zwischen Säuren und Säureamiden. Sind die Säuren die Hydroxylverbindung der Säureradikale, so sind die Säureamide deren Aminoverbindung. Das wichtige Säureradikal CH_3CO, das Azetyl, liefert vereinigt mit dem Hydroxyl die Essigsäure CH_3CO—OH und vereinigt mit der Aminogruppe das Azetamid CH_3CO—NH_2. Zu jeder Säure, ob organisch oder anorganisch, sofern sie nur ein sauer funktionierendes Hydroxyl enthält, ordnet sich auf diesem Wege ein Säureamid zu.

Bei zweibasischen Säuren kann sich dasselbe Spiel doppelt vollziehen, wie dies beim Harnstoff der Fall ist, der sich als das zweifache Amid der Kohlensäure:



enthüllt. Das Produkt, das normaler Bestandteil des menschlichen Harns ist und in gereinigtem Zustande in langen farblosen Prismen kristallisiert, erweist seine Zugehörigkeit beim Kochen mit Alkalien oder mit Mineralsäuren, die ihn alle unter Wassermitwirkung in Kohlensäure und Ammoniak zerlegen. Der Harnstoff und überhaupt die Säureamide sind nur noch äußerst schwache Basen, da die Säureradikale im Gegensatz zu den Alkoholradikalen die dem dreiwertigen Stickstoff innewohnende Fähigkeit zur Salzbildung in hohem Maße abstumpfen.

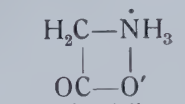
Sind zwei Säureradikale an das gleiche Stickstoffatom gebunden, so wird der basische Charakter nicht bloß abgestumpft, sondern sogar noch überwuchert vom sauren der Radikale, so daß wir trotz des Stickstoffgehaltes nun Säuren vor uns haben. Als lehrreiches Beispiel sei die Barbitursäure:



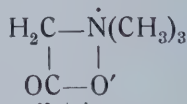
angeführt, bei welcher zur Kohlensäure noch die Malonsäure $CH_2(COOH)_2$ hinzukommt, die dann in das Harnstoffmolekül eingreift und es zu einem sechsgliedrigen Ring schließt. Die Substanz ist eine zweibasische Säure. Die Diäthylbarbitursäure ist das bekannte Schlafmittel Veronal. Der Harnstoff vermag viele dererlei Verbindungen einzugehen, so die ziemlich verwickelt zusammengesetzte Harnsäure, die reichlich im Harn der Reptilien und Vögel und ferner im Harn des Menschen und der fleischfressenden Tiere vorkommt. Als krankhafte Ausscheidung beim Stoffwechsel tritt sie in Form von Harnsteinen und Gichtknoten auf. Die sauerstofffreie Grundsubstanz $C_5H_4N_4$, von welcher sich die Harnsäure ableitet, hat den Namen Purin erhalten, und viele andere Purinderivate sind von nicht geringerem physiologischem Interesse. Hierher gehören das im Harn und Blut und in der Leber sich findende Xanthin, das in den Kakaobohnen vorhandene Theobromin und das im Tee und Kaffee, in der Guarana und in den Kolanüssen enthaltene Teein oder Kaffein.

Eine andere Kategorie stickstoffhaltiger, physiologisch bedeutsamer Säuren ist die den Oxysäuren parallel laufende Reihe der Aminosäuren. Der Milchsäure entspricht das Alanin, eine Aminopropionsäure von der Formel $CH_3—CH(NH_2)—COOH$, süßlich schmeckende farblose Kristalle und Spaltungsprodukt von Eiweißkörpern. Wie in der Milchsäure scharen sich im Alanin vier verschiedene Liganden um das mittlere Kohlenstoffatom, das dadurch asymmetrisch und zum Urheber optischer Aktivität wird; das aus tierischer Substanz, etwa aus Seide dargestellte Produkt ist rechtsdrehend. Der einfachste Vertreter der ganzen Reihe ist die aus Leim gewinnbare Aminoessigsäure $CH_2(NH_2)—COOH$, die in farblosen leicht löslichen Säulen kristallisiert und des süßlichen Geschmackes wegen die Namen Leimsüß oder Glykokoll und Glyzin erhalten hat. Da die Aminosäuren in ihrem Molekül nebeneinander das Karboxyl und die Aminogruppe beherbergen, sind sie Säuren und Basen zugleich, aber beides nur schwach. Sie lassen sich auch als innere Salze auffassen, nämlich als

solche Salze, in welchen der Stickstoff sich nicht mit fremdem, sondern mit molekül-eigenem saurem Wasserstoff zu einem Ammonium vereinigt hat. Für das Glykokoll entspringt mit dieser Vorstellung nachstehende abgeänderte Formel, in welcher jetzt der Stickstoff mit den Eigenschaften eines Kations und der Sauerstoff mit denen eines Anions ausgestattet zu denken ist:



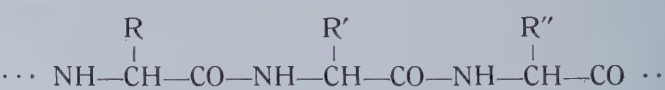
Glykokoll.



Betain.

In ihr ist die durch die inneren Ammoniumsalze erwiesene, elektrochemisch wichtige Tatsache veranschaulicht, daß in ein und demselben Molekül positive und negative Ladungen, ohne sich gegenseitig zu stören, zu gleicher Zeit anwesend sein können. Ein dreifach methyliertes Glykokoll, welches, weil überhaupt nicht anders formulierbar, klar und einwandfrei ein inneres Ammoniumsalz repräsentiert, ist das in der Runkelrübe (beta vulgaris) vorkommende Betain, ein Oxydationsprodukt des in der Galle vorhandenen Cholins. Dieses letztere bildet, mit Glyzerin, Phosphorsäure und Fettsäuren chemisch verbunden, das im Hirn und im Eidotter anzutreffende Lezithin.

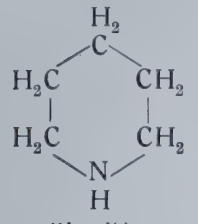
Die Aminosäuren sind die Bausteine der Eiweißstoffe, der Proteine, d. h. der wesentlichsten Bestandteile des tierischen Organismus, des Protoplasmas und der Körpersäfte. Mehrere Moleküle greifen ineinander ein und hängen sich zu langen Ketten zusammen, indem die Aminogruppe des einen sich säureamidartig mit dem Karboxyl eines zweiten verbindet. Auf diese Weise kommt, wie der schon um die Zuckeraufklärung hochverdiente deutsche Forscher Emil Fischer erkannte, das Gerüst der Polypeptide, gewisser Spaltprodukte der Eiweißstoffe, zustande. Das Aufbauschema der Polypeptide ist ausgedrückt durch die Formulierung:

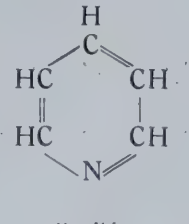


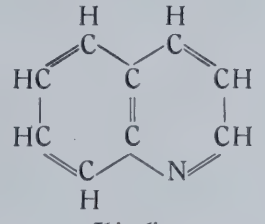
in welcher R, R′, R″ usw. einwertige Radikale und Reste verschiedener Natur bedeuten. Die Eiweißstoffe gehen durch Pepsin, dem wirksamen Enzym des Magensaftes, in Albumosen und Peptone über und werden, nachdem sie diesen den Polypeptiden nahestehenden Verdauungszustand erreicht haben, durch Trypsin, dem Enzym des Pankreassaftes, fast völlig in ihre Aminosäuren gespalten. Aus diesen baut der lebende Organismus seine arteigenen Eiweißstoffe wieder neu auf. Die Eiweißstoffe sind überdies noch schwefelhaltig und verschiedentlich auch phosphorhaltig. Wir nennen die Albumine des Eies, des Blutes, der Milch und der Muskeln, die Globuline des Eigelbes und der Pflanzensamen, die gerinnbaren Fibrine des Blutes und des Fleisches, das Kasein der Milch und das Legumin der Hülsenfrüchte. Von den eigentlichen Eiweißstoffen sich etwas entfernend ist das Keratin, die Hornsubstanz der Haut, Nägel, Haare und Federn, ferner die leimgebende Substanz der Knochen und Knorpeln und des Bindegewebes.

Physiologisch wichtige Stickstoffverbindungen ganz anderer Zusammensetzung sind die Alkaloide, die in Früchten, Samen und Rinden anzutreffenden Pflanzenbasen, die sich durch Gift- und Heilwirkungen auszeichnen und eine wertvolle Be-

reicherung unseres Arzneischatzes bilden. Ihr chemischer Bau ist, obwohl recht kompliziert, in vielen Fällen völlig aufgeklärt, und die Frage nach ihm schneidet das große Gebiet der heterozyklischen Verbindungen an. Den Alkaloiden liegen Basen zugrunde, die den Stickstoff in ringförmiger Verkettung einschließen. Solche Stammsubstanzen sind z. B. das Piperidin, das Pyridin und das Chinolin:


Piperidin.


Pyridin.


Chinolin.

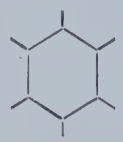
Der Stickstoff ist in ihnen wie in den gewöhnlichen Aminbasen dreiwertig und hier wie dort Sitz des basischen Charakters. Derivate des Piperidins sind das Schierlingsgift Koniin und das aus dem Pfeffer abscheidbare Piperin. Von der Piperidinreihe leiten sich die Solanumbasen Atropin und Hyoszyamin und das Kokablättern entstammende Anästhetikum Kokain ab. Das im Tabak enthaltene Nikotin hat den Pyridinkern zur Unterlage, während das aus Brechnüssen bereitete furchtbare Gift Strychnin und das aus der Chinarinde gewonnene Fiebermittel Chinin sich auf der Basis des Chinolins aufbauen. Wieder andere, aber noch dem Chinolin nahestehende Ringsysteme finden sich in den Opiumbasen Papaverin und Narkotin. Künstlich hergestellte, in der Natur nicht vorkommende Fiebermittel sind das Antipyrin und Pyramidon, die als Grundstock einen fünfgliedrigen stickstoffhaltigen Ring besitzen.

E. Die aromatischen Verbindungen.

Das Benzol, die Muttersubstanz der aromatischen Verbindungen, obwohl ein Eckpfeiler der Wissenschaft und der Industrie, ist ganz eine Errungenschaft der neuren Zeit und der Menschheit erst seit etwa einem Jahrhundert bekannt. Faraday entdeckte es im Jahre 1825, als er, der Verschlechterung des damals noch in Kannen verwendeten Leuchtgases nachgehend, den lichtspendenden Anteil als wasserhelles, flüchtiges Öl auf dem Gefäßboden angesammelt fand. Mitscherlich lehrte 1833 die Darstellung der Substanz aus der Benzoesäure des Benzoeharzes und Liebig schlug 1843 den Namen Benzol vor. 1845 schied es A. W. Hofmann aus dem Steinkohlenteer ab und 1849 begründete sein Schüler Mansfield die technische Gewinnung aus dem Teer. 1856 entdeckte W. Perkin den ersten Anilinfarbstoff, und nun erlangten das hierzu erforderliche Benzol und die anderen durch Teerdestillation gewinnbaren aramatischen Kohlenwasserstoffe in rascher Folge größte wirtschaftliche Bedeutung. Heute stellt man aus diesen Teerprodukten eine Fülle von Farbstoffen und Arzneimitteln her, und verwendet sie auch direkt als Lösungs- und Extraktionsmittel und als Kraftquelle für Motoren.

Die wissenschaftliche Aufklärung setzt mit der im Jahre 1865 von Kekulé auf dem jungen Reis der emporstrebenden Valenzlehre entwickelten Benzoltheorie ein. Nach dem Grundgedanken der Benzoltheorie bergen alle aromatischen Ver-

bindungen einen aus sechs Kohlenstoffatomen bestehenden Kern und bilden diese sechs Atome eine geschlossene ringförmige Kette. Der Kern, dessen einfachste Verbindung das Benzol selbst ist, besitzt die Struktur eines Sechsecks und an jedem der in den Ecken befindlichen Kohlenstoffatome je eine Valenz zur Ankettung von einwertigen Liganden. Ohne auf die schon auf S. 188 besprochene Konstitution des Kerns näher einzugehen, können wir ihn durch das vereinfachte Schema:

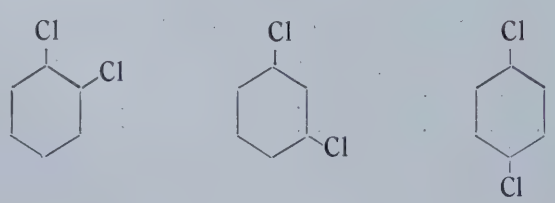


versinnbildlichen und damit die Isomerieverhältnisse und die gegenseitigen Beziehungen der aromatischen Verbindungen sicher und klar erfassen. Der Kern hat ein sehr festes Gefüge, und bei den meisten chemischen Einwirkungen wird nicht er selbst, sondern nur einer der Liganden angegriffen.

Das Benzol C_6H_6 ist die Wasserstoffverbindung des Benzolkerns. Geeignete Einwirkung mit Halogenen, Salpetersäure, Schwefelsäure oder sonstigen chemischen Mitteln führt zum Ersatze des Wasserstoffs durch andere Liganden. Unterwerfen wir nur eines der sechs Wasserstoffatome der Substitution, so kommen wir zu einem Monoderivat, z. B. zum Chlorbenzol:

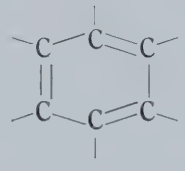
Wie auch der Substituent beschaffen und auf welche Weise er auch eingeführt sein mag, in allen Fällen existiert nur ein einziges Monoderivat. Eine Isomerie besteht nie, und daraus folgt, daß die sechs Ecken des Benzolkerns einander völlig gleichartig sind, und es daher gleichgültig ist, an welcher von ihnen die Substitution von Wasserstoff stattfhat. An welche Ecke wir auch das Symbol des Substituenten hinsetzen, die Formel bedeutet doch immer ein und dieselbe Substanz. Diese Belanglosigkeit der Auswahl gestattet, die Formelsprache zu vereinfachen und zwar dadurch, daß wir die am Kern haftenden Wasserstoffatome überhaupt nicht mehr anschreiben.

Erstreckt sich die Substitution auf zwei oder mehr Wasserstoffatome des Benzolkerns, so stellen sich Isomerien ein. Die Isomerieverhältnisse, über welche wir auf Grund eines reichen Erfahrungsschatzes vorzüglich unterrichtet sind, regeln sich vollkommen nach den Symmetriebeziehungen eines regulären Sechsecks. Alle Derivate treten in drei Isomeren aus. Die folgenden Formeln zeigen dies für die Dichlorderivate:



Die Nomenklatur unterscheidet die drei Stellungen durch die Worte ortho, meta und para, so daß also die erste Formel dem Ortho-dichlorbenzol, die zweite dem Meta-dichlorbenzol und die dritte dem Para-dichlorbenzol angehört. Dank zielbewußter gründlicher Untersuchungen zahlreicher Forscher wissen über die Stellung der Substituenten bei den meisten der bekannten Benzolderivaten genauen Bescheid und kennen Mittel und Wege, um auch bei neuen einen sicheren zuverlässigen Aufschluß zu bekommen.

Selten hat ein Gedanke sich so fruchtbar und segensreich ausgewirkt wie die Benzoltheorie Kekulés, und dennoch hat auch sie mit Schwierigkeiten zu kämpfen. Um an dem Postulat der Vierwertigkeit des Kohlenstoffs festzuhalten, müssen wir in das Benzolsechseck drei Paare von Doppelbindungen einzeichnen und erhalten damit erst die eigentliche Kekuléſche Formel:



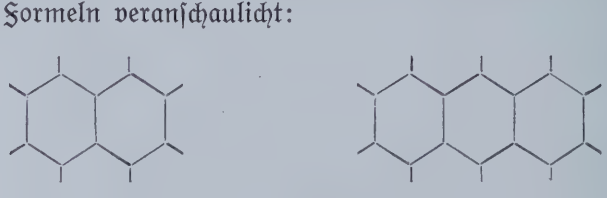
in der nun tatsächlich von jedem Kohlenstoffsymbol vier Valenzstriche auslaufen. Mit dieser Abänderung hört aber das Benzolschema auf, Abbild der Isomerieverhältnisse zu sein, denn die Figur zeigt entgegen der Erfahrung zweierlei Arten von Orthostellung. Bei der einen Art haften die beiden Substituenten an einer Doppelbindung, bei der anderen an einer einfachen, und daher sollten zwei Orthoderivate möglich sein; die Beobachtung weiß aber durchweg immer nur von einem einzigen. Diesem Widerspruch auszuweichen, hat eine Reihe von Chemikern Formeln mit anderer Verteilung der scheinbar überflüssigen vierten Kohlenstoffvalenz aufgestellt. Gegen jede derselben lassen sich gewichtige Einwände erheben, so daß die Frage nach der Konstitution des Benzols zu einem viel umstrittenen Problem geworden ist. Zu einem gewissen Abschluß kam die Frage durch die Untersuchungen Baeyers, nach welchen wir uns vorzustellen haben, daß die sechs überschüssigen Valenzen nicht mehr wie sonst sich paarweise, sondern alle sechs sich direkt gegeneinander absättigen. Der besondere, in offenen Ketten nicht mögliche Zustand, der durch diese eigene Art des Valenzausgleichs bewirkt ist, bedingt die spezifischen Reaktionen des Benzolkerns, bedingt gerade das, was die Chemiker unter aromatischem Charakter verstehen. Die Eigenart des Benzolkerns äußert sich auch in physikalischer, namentlich in optischer Hinsicht; er zeichnet sich durch Lumineszenzvermögen aus und ist, wie Kauffmann 1904 und Stark 1907 nachwies, der Sitz der Lichtausstrahlung bei der in der aromatischen Reihe so häufig angetroffenen Fluoreszenz. Das weit über seinen ursprünglichen Rahmen hinausgewachsene Benzolproblem erschließt auf diese Weise der Valenzlehre neue Zusammenhänge und bedeutet in Wirklichkeit keine Hemmung, sondern eine Vertiefung der Valenzforschung.

Das Benzol bietet sich uns als ein farbloses, dünnflüssiges Öl dar, das leicht verdunstet, bei 80° siedet und bei 5° gefriert. Beim Anzünden verbrennt es mit leuchtender, stark rußender Flamme. Obwohl äußerlich an Benzin erinnernd, darf es mit diesem doch nicht zusammen genannt werden; es unterscheidet sich von diesem

durch seinen Geruch, seinen chemischen Aufbau und vor allem durch seine Reaktionsfähigkeit. Es setzt sich leicht mit Salpetersäure und Schwefelsäure um und geht dabei in Derivate über, die hauptsächlich für die Farbenindustrie von Wichtigkeit sind. Ihm ähnlich ist das homologe Toluol C_7H_8 oder $C_6H_5—CH_3$, das außer zur Bereitung von Farb- und Sprengstoffen auch zu der des Süßstoffes Saccharin dient. Benzol, Toluol und viele andere Homologe enthalten gemeinsam den Rest C_6H_5, das Phenyl, ein einwertiges, aromatisches Radikal, das wir zu den Alkylen zählen.

Das Toluol, das als die Methylverbindung des Phenyls anzusprechen ist, und ebenso jedes beliebige sonstige Homologe bilden für sich neue chemische Ausgangspunkte, denn dadurch, daß wir das Methyl oder andere Seitenketten Einwirkungen unterwerfen, entrollt sich unserem Auge wieder dasselbe Bild, das wir schon in der Fettreihe gesehen haben. Unter dem Einfluß von Oxydationsmitteln entstehen Alkohole, Aldehyde, Ketone und Säuren, die aber alle noch das unveränderte Phenyl enthalten und so zu aromatischen Vertretern ihrer Klasse werden. Der einfachste Aldehyd dieser Art ist der Benzaldehyd $C_6H_5—CHO$, das Bittermandelöl, eine farblose, stark lichtbrechende Flüssigkeit vom charakteristischen Geruch der bitteren Mandeln, aus denen es auch gewonnen werden kann. Technisch wird dieses Parfümeriemittel aus Toluol dargestellt. Durch Oxydation, die sich schon beim Stehen an der Luft vollzieht, verwandelt sich das Bittermandelöl in die Benzoesäure $C_6H_5—COOH$, die einfachste aromatische Karbonsäure. Die Benzoesäure kristallisiert in weißen Blättchen, liefert Salze und Ester wie irgendeine andere Karbonsäure und wird ihrer antiseptischen Wirkung wegen in der Medizin und zum Früchteeinmachen verwendet.

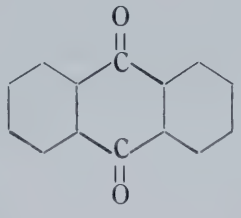
Neben Benzol und Toluol werden aus dem Steinkohlenteer noch andere wichtige Kohlenwasserstoffe, das zweikernige Naphthalin und das dreikernige Anthrazen abgeschieden, beides Substanzen, in welchen durch das Zusammenschweißen mehrerer Ringe der aromatische Charakter sich gesteigert hat. Ihre Kohlenstoffskelette sind durch folgende Formeln veranschaulicht:



Das Naphthalin $C_{10}H_8$, das im Steinkohlenteer in großen Mengen enthalten ist, bildet farblose Blättchen von eigentümlichem Geruch und brennendem Geschmack. Es verflüchtigt sich allmählich beim offenen Aufbewahren und rußt beim Verbrennen sehr stark. Es dient als Mottenpulver, hauptsächlich aber und in ausgedehntem Maße zur Herstellung von Farbstoffen. Die Indigofabrikation benützt es als wesentlichstes Ausgangsmaterial und führt es durch Oxydation zunächst in Phthalsäure, in die Benzoldikarbonsäure $C_6H_4(COOH)_2$ mit orthoständigen Karboxylen über.

Das Anthrazen $C_{14}H_{10}$, das sich in den hochsiedenden Teerdestillaten findet, kristallisiert in farblosen, blau fluoreszierenden, geruch- und geschmacklosen Tafeln. Der Kohlenwasserstoff wurde 1831 von Dumas und Laurent im Steinkohlenteer entdeckt, zog aber die Aufmerksamkeit erst auf sich, als 1868 Gräbe und Liebermann ihn als Stammsubstanz des Alizarins, dem Farbstoff der Krappwurzel, erkannten.

Auf der Grundlage dieses Nachweises setzte die künstliche fabrikmäßige Herstellung dieses begehrten, zum Türkischrotfärben dienenden Farbstoffes umwälzend ein, und bald gesellten sich ihm völlig neue nahestehende andere hinzu. Der Weg der Fabrikation geht über das Anthrachinon:



einem Oxydationsprodukt, das sich als eine wahre Fundgrube vorzüglicher Farbstoffe ausweist. Die sich durch Echtheit auszeichnenden Indanthrene, deren erster Vertreter von Bohn 1901 entdeckt wurde, sind Abkömmlinge dieses wichtigen Anthrachinons.

Hinter jedem der aufgezählten Kohlenwasserstoffe steht, wie leicht verständlich, eine reichhaltige Mannigfaltigkeit von Derivaten. Der Charakter der Substanzen wechselt von Fall zu Fall, und an dieser Änderung nimmt jeweils auch der Benzolkern, freilich in einer durch Strukturformeln nicht ausdrückbaren Weise, teil. Substanzen mit einem vom Liganden weitgehend beeinflußten Ringzustand sind in erster Linie das Phenol und das Anilin. Das eine ist die Hydroxylverbindung, das andere die Aminoverbindung des Phenyls, und in beiden äußert der Benzolkern gesteigerte Reaktionsfähigkeit und erhöhte optische Auswirkung. Beide Substanzen sind Anfangsglieder homologer Reihen und haben getreue Analogien beim Naphthalin, Anthrazen und anderen mehrkernigen Gebilden.

Das Phenol C_6H_5OH ist ein wesentlicher Bestandteil des Steinkohlenteers und wird daraus in Form von Karbolsäure als farblose kristalline Masse abgeschieden, die sich bei Zugabe schon einer kleinen Menge Wasser verflüssigt. Die Karbolsäure hat einen charakteristischen Geruch, ist giftig und wirkt ätzend auf die Haut. Sie entfaltet hervorragende antiseptische Eigenschaften und dient daher als Desinfektionsmittel. Ihrer Konstitution nach sollten wir sie zu den Alkoholen rechnen, in Wirklichkeit weicht sie aber von diesen erheblich ab und ist eine allerdings nur sehr schwache Säure. Durch Verbinden mit Kohlensäure entsteht aus ihr die Ortho-oxybenzoesäure $C_6H_4(OH)(COOH)$, die Salizylsäure, die stärker sauer, ebenfalls antiseptisch, aber kaum noch giftig ist. Die Salizylsäure, die den Namen ihrem Vorkommen in Weidenblättern (salix) verdankt, findet Verwendung zum Konservieren von Nahrungsmitteln, zum Imprägnieren von Verbandstoffen und in Form des Natriumsalzes als schweißtreibendes Heilmittel. Dem letzteren Zweck dient auch das aus ihr hergestellte Aspirin.

Das Anilin $C_6H_5—NH_2$ bildet eine farblose, an der Luft sich bräunende, ölige Flüssigkeit von eigentümlichem Geruch. Im Steinkohlenteer findet es sich nur in sehr kleinen Mengen und muß daher auf besonderem Wege fabriziert werden. Das Ausgangsmaterial ist das Benzol; dieses wird nitriert, d. h. mit Salpetersäure behandelt und dann das so entstehende Nitrobenzol $C_6H_5—NO_2$ der Reduktion unterworfen. Das Anilin ist eine typisch aromatische Base; schwächer basisch als Ammoniak, verbindet es sich mit Säuren zu Salzen, die leicht wieder zerfallen. Aus Anilin, dem

noch die ihm homologenen Toluidine beigemischt sind, entstehen durch Oxydationsmittel Farbstoffe, so das rote Fuchsin, das erstmals im Jahre 1859 von Verguin technisch gewonnen wurde. Die Anilinfarbstoffe erfreuten sich schnell großer Beliebtheit und wurden zum Ansporn der Anilinfabrikation, die noch an Ausdehnung zunahm, als die Azofarbstoffe aufkamen. Ebenso wichtig wie das Anilin sind noch viele andere aromatische Basen, und die Anwendung aller dieser Substanzen beschränkt sich keineswegs auf das Farbstoffgebiet allein. So leiten sich die Fiebermittel Antifebrin und Antipyrin vom Anilin und das Phenazetin von einer anderen nahestehenden Base ab.

IV. Der Aufbau der Materie.

A. Die Erscheinungsformen.

Die Welt der Stoffe tritt uns in drei Formarten entgegen, entweder als Gas oder als Flüssigkeit oder als fester Körper. Ein und derselbe Stoff kann je nach den äußeren Bedingungen, denen wir ihn aussetzen, jeden dieser drei Aggregatzustände einnehmen, wie das vertrauteste aller Beispiele, das Wasser, uns klar vor Augen führt. Unter gewöhnlichen Umständen eine Flüssigkeit, wird es in der Hitze durch Verdampfen zum Gas und in der Kälte durch Gefrieren zum festen Körper. Ob Dampf, ob Flüssigkeit oder ob Eis, immer haben wir es mit der gleichen chemischen Substanz Wasser zu tun, und unserem Belieben bleibt es vorbehalten, etwa durch Erwärmen oder durch Abkühlen die eine oder die andere Formart herbeizuführen.

Der Wechsel des Aggregatzustandes steht im Zeichen der Umkehrbarkeit, und so können wir uneingeschränkt und willkürlich oft Wasser zum Gefrieren und hinterher wieder zum Auftauen bringen. Was für das Wasser gilt, trifft auch für andere Stoffe zu, jedoch durchaus nicht für alle. Zahlreiche Substanzen sind nur in festem Zustand bekannt und existenzfähig und erleiden, wenn sie zum Zweck des Schmelzens erhitzt werden, keinen Wechsel des Zustands, sondern einen mehr oder weniger tiefgreifenden Wandel ihrer chemischen Natur, der, einmal geschehen, nicht mehr rückgängig gemacht werden kann. Wird Zellstoff, d. h. die das Grundmaterial von Holz und Papier bildende Zellulose, erhitzt, so verkohlt er unter gleichzeitiger Bildung von riechenden Dämpfen und teerigen Produkten, und jede Möglichkeit ist uns abgeschnitten, diesen Zerfall wieder gut zu machen. Der Zellstoff hat eine bleibende chemische Veränderung, eine Zersetzung, erfahren.

Zersetzung anstatt Zustandswechsel kommt sehr häufig vor, insbesondere dann, wenn es sich um die Überführung in den Gaszustand handelt. Fette beispielsweise lassen sich, ohne daß eine chemische Veränderung Platz greift, wohl schmelzen, nicht aber verdampfen; sie entwickeln beim Sieden die Augen zum Tränen reizende Dämpfe und andere Produkte.

Ob der durch das Erhitzen bewirkte chemische Vorgang zu einer bleibenden oder zu einer wieder behebbaren Veränderung führt, hängt von der Natur der Substanz ab. Kann er wieder rückgängig gemacht werden, wie etwa im Fall des Salmiaks, steht also die Gesamtheit des Geschehens im Zeichen der Umkehrbarkeit, so haben wir wieder regelrechte Wechsel der Aggregatzustände, ohne von der wirklichen

Sachlage zunächst etwas zu ahnen. Der Salmiak verdampft beim Erhitzen; die weißen Stücke verschwinden und gehen in ein farbloses Gas über; Abkühlung kehrt den Verlauf wieder um und verwandelt das Gas in die feste weiße Substanz zurück. Scheinbar hat sich nichts anderes als nur ein einfacher Wechsel des Aggregatzustandes vollzogen; ein Wechsel, wie er ganz allgemein auch bei anderen sublimierbaren Substanzen stattfindet; ein Wechsel, der je nach den Temperaturverhältnissen den Salmiak bald fest, bald gasförmig darbietet. Ein tieferes Eindringen offenbart jedoch die Besonderheit der Sachlage. Der Dampf ist gar kein Salmiak mehr, sondern besteht, indem sich die Substanz spaltet, aus Salzsäuregas und Ammoniak. Abkühlen hebt die Spaltung wieder auf. Verdampfen und Sublimieren sind daher, genau genommen, nur vorgetäuscht und in Wirklichkeit Auswirkungen einander entgegen arbeitender Reaktionen. Diese lassen sich folgendermaßen formulieren:

$$NH_4Cl \rightleftarrows NH_3 + HCl\,.$$

Der obere Pfeil bezieht sich auf den Vorgang beim Verdampfen, auf die Bildung zweier Gase, der untere auf den Vorgang beim Wiederfestwerden, auf die chemische Wiedervereinigung dieser Gase. Der Nachweis solcher Verwicklungen und die Erkennung ihrer Natur sind Sache eingehender Untersuchungen, für welche gute und sichere Methoden zur Verfügung stehen. Umkehrbare Spaltungen, *Dissoziationen*, sind keineswegs Seltenheiten und werden nicht bloß beim festen Aggregatzustand angetroffen.

Gegenüber dem gasförmigen und dem flüssigen Aggregatzustand zeichnet sich der feste in einer wichtigen Hinsicht grundlegend aus, nämlich durch die Vielheit und Mannigfaltigkeit seiner Erscheinungsform. Die festen Körper können amorph oder kristallisiert sein und die Kristalle wiederum in den verschiedensten Formen auftreten. Sogar ein und derselbe Stoff kann in mehreren festen Zuständen erscheinen, und die Möglichkeit zu solchen von einander verschiedenen Modifikationen besteht sowohl bei chemischen Verbindungen als auch bei den Elementen selbst. Im letzteren Fall nennt man sie *allotrope Modifikationen*, von welchen sich z. B. beim Schwefel leicht drei herstellen lassen. Der amorphe Schwefel, der durch hohes Erhitzen des Elements und Eingießen der heißen Schmelze in kaltes Wasser entsteht, bildet eine kautschukartige, dehnbare, gelbbraune Masse. Der rhombische Schwefel ist die gewöhnliche Form des Elements und der monokline diejenige, in welcher Schmelzen in der Hitze kristallisieren. Von diesen drei Modifikationen ist unter gewöhnlichen Verhältnissen nur die rhombische beständig, und beim Aufbewahren verwandeln sich im Lauf der Zeit die beiden anderen von selbst in sie.

Die verschiedenen Modifikationen eines Stoffes sind mehr oder weniger leicht ineinander überführbar, und ihre gegenseitige Umwandelbarkeit unterliegt bestimmten Gesetzen, die sich bei kristallisierten Formen durch das Auftreten eines *Umwandlungspunktes* ausdrücken. Dieser Punkt ist eine gewisse Temperatur, eine Grenztemperatur, unterhalb deren nur die eine Modifikation und oberhalb deren nur die andere Existenzberechtigung hat. Beim Schwefel liegt der Umwandlungspunkt bei 95,6°. Unterhalb dieser Temperatur sind also die Schwefelkristalle rhombisch und oberhalb monoklin. Werden sie aus ihrem eigenen in den

anderen Temperaturbereich verbracht, so verlieren sie ihre Beständigkeit und wandeln sich von allein in die richtige Form um.

In manchen Fällen haben allotrope Modifikationen so verschiedenartiges Aussehen und so ungleiche Eigenschaften, daß man, wären nicht chemische Beweise beizubringen, nie daran dächte, es mit ein und demselben Element zu tun zu haben. Als Belege sei der Phosphor angeführt, der in einer weißen und in einer roten Form auftritt. Der weiße Phosphor bildet eine wachsweiche, durchsichtige, farblose Kristallmasse, welche einen riechenden, im Dunkeln leuchtenden Dampf ausstößt und neben ihrer ungeheuren Giftigkeit sich durch große Entzündlichkeit auszeichnet. Im Gegensatz zu ihm stellt der rote Phosphor ein glasiges, sprödes, violettrotes Produkt dar, das weder giftig, noch riechend, noch leuchtend ist und erst wieder beim Anheizen auf hohe Temperatur Brennbarkeit erlangt. Beide Formen sind ineinander umwandelbar, und so entsteht die rote aus der weißen einfach dadurch, daß man diese unter Abhaltung von Luft in einem geschlossenem Kessel längere Zeit erhitzt.

Die Möglichkeit allotroper und anderer Modifikationen beruht teils auf dem Gefüge der Moleküle teils auf der Gitterstruktur der Kristalle. Das Raumgitter wechselt mit der Modifikation, und zur Ergründung seiner jeweiligen Beschaffenheit sind mit Vorteil Röntgenstrahlen herangezogen worden. Auf diese Weise wurde unser Wissen lehrreich vertieft, namentlich in bezug auf den Aufbau des Diamanten und des Graphits, den beiden kristallisierten Modifikationen des im allgemeinen amorphen Elements Kohlenstoff. Der Diamant ist ein natürlicher, wasserklarer, glänzender Edelstein mit prächtigem Farbenspiel und höchster Härte, der auch nicht im entferntesten irgendwie an die gemeine schwarze Kohle erinnert. Beim Graphit, der schwarzgraue, metallisch aussehende Massen bildet, ist dies schon eher der Fall; er unterscheidet sich aber von der amorphen Kohlenstoffmodifikation immer noch durch bestimmte Eigenschaften, so durch ein hohes Leitvermögen für Elektrizität, ferner ebenso wie der Diamant durch eine außerordentliche Schwerverbrennlichkeit. Von diesem wiederum weicht er außer durch seine Farbe und seinem Leitvermögen vor allem durch seine Weichheit ab, dank welcher Eigenschaft er sich, da er keineswegs ein seltenes Mineral ist, zu Bleistiften eignet. Alle diese charakteristischen Gegensätze sind durch den Kristallaufbau bedingt, der das eine Mal den Richtlinien der aliphatischen, das andere Mal denen der aromatischen Atomverkettung folgt. Im Diamant umgeben sich die in Gitterpunkten sitzenden Kohlenstoffatome gegenseitig in tetraedrischer Anordnung nach den Verkettungsregeln der Fettreihe, im Graphit dagegen lagern sie sich in parallelen Ebenen, von denen jede eine nach den Verkuppelungsregeln der Benzolkerne zusammengefügte, fast endlose Mosaik von Sechsecken darstellt.

Die Vielgestaltigkeit in den Erscheinungsformen der Materie erfährt eine weitere Ausdehnung, wenn es sich nicht bloß um einen einzigen, sondern gleichzeitig um mehrere Stoffe handelt. In die Frage nach dem Aggregatzustand schiebt sich nun als neuer Begriff der der Lösung ein. Entweder ruhen die Stoffe jeder in seinem Aggregatzustand fremd nebeneinander, wie etwa Zucker in Benzin, oder durchdringen sie sich, wie Zuckerwasser uns zeigt, gegenseitig so völlig und innig, daß ein gleichmäßiges Gemisch zustande kommt, das durch und durch einheitlich aussieht und räumlich keine Spur mehr seiner zwiefältigen Natur aufweist. Die Zuckerkristalle

werden, wenn in Wasser eingeworfen, zernagt und abgebaut und verlieren ihre Existenz, indem sich ihre Moleküle bis zum höchsten Grad mit denen des Wassers untermischen. Die nunmehr vorhandene Flüssigkeit, die Lösung, besteht aus zwei Substanzen zugleich, und daß sie, obwohl so aussehend, kein reines Wasser mehr ist, offenbart uns aufs einfachste ihr süßer Geschmack. Noch sinnenfälliger wird das Charakteristische der Erscheinung, wenn wir anstatt Zucker Kupfervitriol nehmen, denn dann können wir an der Ausbreitung der blauen Farbe mit dem Auge verfolgen, wie die Substanz des abgebaut werdenden Kristalls allmählich in das Wasser eindringt und in diesem sich schließlich gleichmäßig verteilt. Zucker und Kupfervitriol

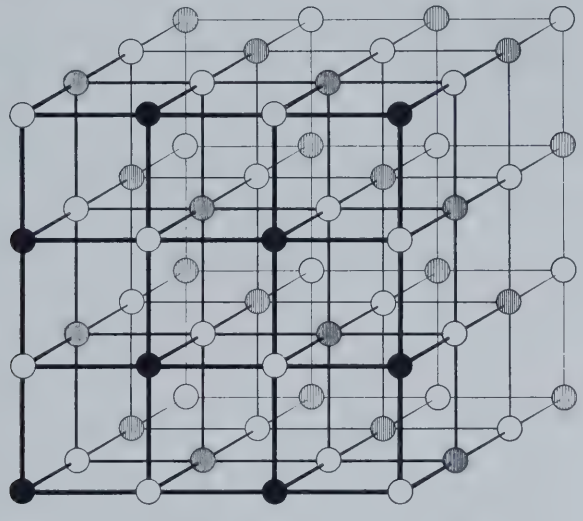


Abb. 113.

und ebenso zahlreiche andere Stoffe lösen sich im Wasser unter völliger Wahrung ihrer chemischen Eigenart; beim Wegdunsten des Lösungsmittels scheiden sie sich wieder unverändert in Kristallen aus.

Zwischen den Bestandteilen einer Lösung findet eine gewisse Wechselwirkung statt, und Auffassungen, als ob die Moleküle der gelösten Substanz in voller Freiheit im Lösungsmittel herumschwämmen oder in Poren desselben sich aufhielten, geben ein unzulängliches, irreleitendes Bild. Nach den heutigen Ansichten haben wir uns vorzustellen, daß sich um das gelöste Teilchen herum Schichten des Lösungsmittels anheften und anpressen, daß also in wäßrigen Lösungen Kräfte tätig sind, welche eine Beladung der Teilchenoberfläche mit Wassermolekülen, eine Hydratisierung, bewirken. Beim Aufenthalt und bei Bewegungen im Lösungsmittel reibt sich demnach nicht das Teilchen selbst an der Flüssigkeit, sondern letzten Endes nur Wasser an Wasser. Die Hydratisierung oder, allgemeiner ausgedrückt, die Solvatisierung ist durchaus kein mehr zufälliger, gleichgültiger Nebenvorgang; im Gegenteil, sie lenkt das ganze Lösungsgeschehnis, und je leichter sie eintritt, desto größer ist die Löslichkeit der Substanz in Wasser oder einem anderen Solvens.

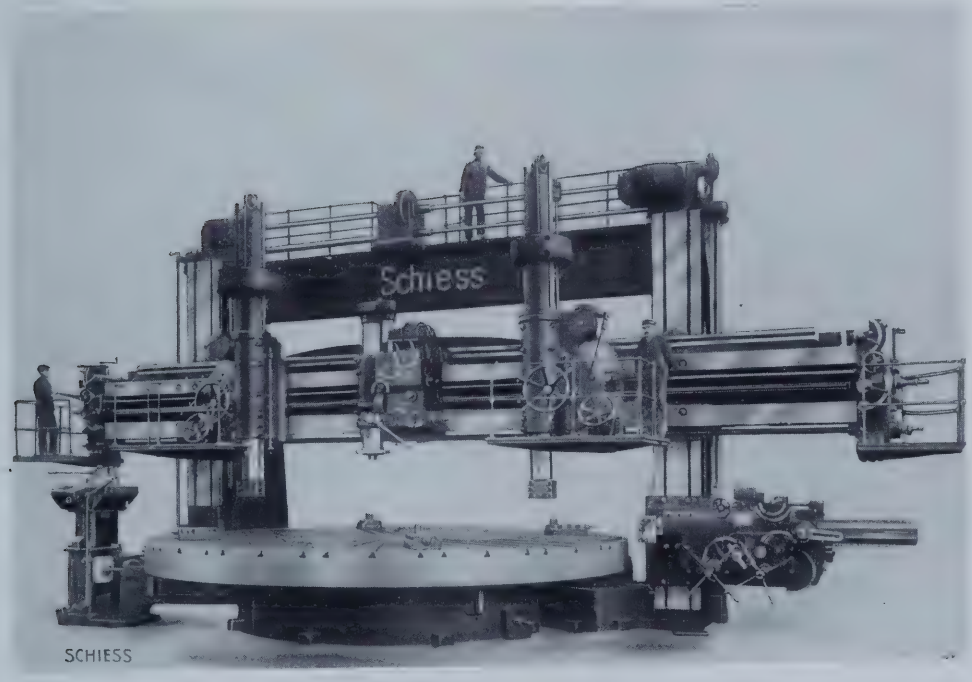
Stellen wir uns einmal etwas näher vor, was sich ereignet, wenn Kochsalz, wenn Chlornatrium, sich in Wasser löst. Zu diesem Zweck müssen wir uns zunächst

den Aufbau eines Kochsalzkristalls klarmachen und davon ausgehen, daß wir ein Ionengitter vor uns haben. Nicht aus in sich geschlossenen Einzelmolekülen NaCl ist der Kristall zusammengefügt, sondern aus den Ionen Na und Cl, von denen jedes einzelne mit voller Selbständigkeit in ihm existiert. Die Abb. 113, in welcher die schwarzen Kreise Natriumionen, die weißen dagegen Chlorionen andeuten, veranschaulichen die den Kristallaufbau beherrschende Harmonie. Die Ionen sitzen in den Gitterpunkten des würfelförmigen Netzes und folgen abwechslungsweise so aufeinander, daß jedes von ihnen von sechs anderen der entgegengesetzten Art oktaedrisch umgeben ist. Umspült Wasser den Kristall, so hydratisieren sich die Ionen, trennen sich ab und erscheinen als Flüssigkeit. Genügend Wasser vorausgesetzt, findet dieser Vorgang erst dann sein Ende, wenn von außen nach innen Gitterpunkt um Gitterpunkt dem Abbau und Ion um Ion der Hydratisierung anheimgefallen ist. Wir erkennen bei dieser Gelegenheit, daß in Lösungen die Ionen weniger einfache Gebilde sind als in Kristallen. In der Kochsalzlösung bestehen sie in Wahrheit nicht nur aus den elektrisch geladenen Atomen des Natriums und Chlors; zu ihrem Wesen gehört unbedingt noch die angelagerte Wasserhülle, die bei allen Ionenarten das Verhalten einflußreich mitbestimmt.

Der Vorgang, der sich beim Auflösen des Zuckers, des Salzes und des Kupfervitriols abspielt, bedeutet, räumlich betrachtet, eine Zerstückelung der sich lösenden Substanz bis in die kleinsten und letzten Teile, bis in die Moleküle und Ionen. Auch wenn die Zerteilung weniger tief durchgreift, ist eine Art der Verflüssigung möglich; nur haben wir es alsdann mit einer Scheinlösung zu tun, die durch ihren mehr oder weniger trüben Anblick schon äußerlich auf das Obwalten anderer Verhältnisse hinweist. Die Teilchen können von solcher Größe sein, daß sie unter dem Mikroskop oder sogar dem unbewaffneten Auge sichtbar werden, und dann sprechen wir nicht mehr von einer Lösung, sondern von einer Suspension. Die Teilchen, also kleine Splitter des festen Körpers, sind nur aufgeschlämmt und nicht gelöst; sie schweben in der Flüssigkeit, um über kurz oder lang auf den Boden zu sinken. Flußwasser nach Regen ist ein Beispiel einer Suspension. Ist der zerteilte Körper selbst flüssig, etwa ein Öl, so bestehen die schwebenden Teilchen aus feinen Tröpfchen und bilden mit dem Wasser, in das sie eingebettet sind, eine milchige Mischung, eine Emulsion. In einer solchen Emulsion, die sich einfach durch kräftiges Schütteln herstellen läßt, fangen sich bald früher bald später die Tröpfchen gegenseitig ein, wachsen dadurch und erscheinen allmählich wieder als obenauf schwimmende Ölaugen. Oft gestatten geeignete Zusätze, sowohl die Emulsionen als auch die Suspensionen haltbar zu machen.

Die Haltbarkeit erhöht sich in dem Maße, als die Teilchen kleiner werden, und damit zusammenhängend machen sich neue Gesichtspunkte geltend, mit denen wir nun das wichtige weite Gebiet der Kolloidchemie betreten. Der Begründer dieses früher vernachlässigten Wissenszweiges ist Thomas Graham, der im Jahre 1851 die ersten aufklärenden, aus fundamentalen Versuchen abgeleiteten Ansichten entwickelte. Er faßte die leimähnlichen Stoffe zusammen und erkannte als ihnen gemeinsam die Unfähigkeit, in wäßriger Lösung durch tierische Membrane hindurchzuwandern. Er schuf aus dem lateinischen Wort colla für Leim die Bezeichnung Kolloid und lehrte, wie man durch Dialyse Kolloide kennzeichnen und von anders-

Brückenkonstruktion über den Stössensee bei Berlin.



Revolverdrehbank von riesenhaftem Ausmaß.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

artigen Stoffen befreien kann. Die Konstruktion eines hierzu dienenden Dialysators geht aus Abb. 114 hervor. Die zu behandelnde Lösung wird in das innere zylindrische Gefäß, das anstatt eines Bodens mit einer tierischen Blase oder mit Pergamentpapier bespannt ist, eingefüllt. Das Gefäß wird in ein weiteres, das reines Wasser enthält, eingesenkt, und sofort beginnt ein Auswandern der Nichtkolloide, beispielsweise von Zucker oder Salz, durch die Membran hindurch ins äußere Wasser. Die Kolloide beteiligen sich an dieser Wanderung, an der Dialyse, nicht und bleiben in um so reinerem Zustand in der Innenflüssigkeit zurück, je öfter wir die Außenflüssigkeit erneuern. Als zu den Kolloiden gehörig erweisen sich so außer Leim Substanzen wie Eiweiß, Stärke, Gummi, Seife, Kieselsäure und viele andere.

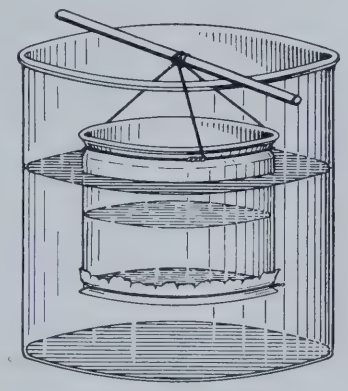


Abb. 114.

Die Lösungen der Kolloide sind mehr oder weniger dickflüssig und nicht selten opaleszierend; aber selbst dann, wenn sie klar aussehen, beweist der an ihnen auftretende Tyndalleffekt, daß sie in Wahrheit doch trübe sind. Dieser Effekt äußert sich beim Hindurchschicken eines schmalen intensiven Lichtstrahls und besteht zum Unterschied von echten Lösungen, die völlig dunkel bleiben, im hellen Aufleuchten der Strahlenbahn.

Neuere Untersuchungen haben ergeben, daß der Kolloidzustand viel verbreitet ist und sich den meisten Substanzen aufzwingen läßt. Sogar Gold und Platin, die doch der chemischen Auflösung größten Widerstand entgegensetzen, können ihn annehmen und dann wasserlöslich sein. Die Lösung eines Kolloids nennen wir ein Sol und den durch Eintrocknen daraus erhältlichen festen Körper, der sich in einem vom gewöhnlichen verschiedenen Zustand befinden kann, ein Gel. Ist die kolloide Natur im Gel noch voll erhalten, so wird es wie der Leim mit Wasser wieder aufs neue zum Sol; anderenfalls vermindert sich die Wiederlöslichkeit oder hört ganz auf, wie solches beim Gold oder Platin unter Zurückverwandlung in den Metallzustand leicht eintritt.

Als Kolloid befindet sich die Materie in einem eigenartigen Zustand feiner Zerteilung. Das Sol ist ein disperses System, d. h. ein Gebilde, das sich aus den Teilchen und der zerteilenden Flüssigkeit, dem Dispersionsmittel, das meistens Wasser ist, zusammensetzt. Die Teilchen, für welche man nach dem Vorschlag des Münchner Botanikers Nägeli (1877) die Bezeichnung „Micellen" (abgeleitet von micella = Krümchen und mica = Krume) gebraucht, sind bald größer, bald kleiner, und je nachdem verschiebt sich die Sachlage. Nach Wolfgang Ostwald sind in den Suspensionen und grobdispersen Systemen die Teilchen noch größer als 100 mμ; (1 mμ ist ein Millionstel eines Millimeters); in den kolloiddispersen Systemen beträgt ihre Größe 100 bis 1 mμ, in den molekulardispersen Systemen, also in den echten Lösungen aber weniger als 1 mμ. Sehr gute Dienste zur Erforschung der kolloiddispersen Systeme hat das auf dem Tyndalleffekt beruhende, von Zsigmondy gemeinsam mit Siedentopf konstruierte Ultramikroskop geleistet.

Neben dem Zerteilungs- oder Dispersitätsgrad spielen noch andere Faktoren

in die Eigenschaften der Kolloide herein. Die Micellen sind elektrisch geladen und zwar alle im Sol vorhandenen im gleichen Sinn; gerade dieser Umstand macht das disperse System beständig, denn die gegenseitige elektrische Abstoßung verhindert das Zusammenballen. Die Ladung rührt von aus der Flüssigkeit aufgenommenen Ionen her und kann durch Zugabe von Salzen, Säuren oder Basen beeinflußt, ja sogar umgekehrt werden. Beseitigung der elektrischen Ladung bedeutet Zusammenballen und Ausflocken der Micellen. Ebenso wie die Micellen Ionen anheften, können sie auch andere Stoffe, etwa Wassermoleküle, festhalten oder adsorbieren. Da, wo große Neigung dazu herrscht, wo das Kolloid hydrophil ist, zeigt das Gel typische Quellungserscheinungen und verwandelt sich in eine Gallerte, ein Mittelding zwischen festem und flüssigem Zustand. Die mit Wasser beladenen Kolloidteilchen sind hier nicht frei beweglich; sie berühren sich und bilden so ein lockeres, schwammartiges Gerüst, dessen Zwischenräume oder Poren mit Wasser oder einer Lösung ausgefüllt sind. Beim Leim besteht die Gerüstsubstanz der Gallerte aus hochhydratisiertem Gel und die Porensubstanz aus dem Sol. Gerinnen oder koagulieren, wie es bei Eiweißlösungen in der Hitze stattfindet, ist ein unmittelbarer Übergang aus dem Sol in das gallertartige Gel infolge Änderung des Dispersitätsgrades.

B. Die chemische Verwandtschaft.

Die Triebfeder der chemischen Vorgänge ist eine Kraft, die in der Materie ruht und zwischen den Stoffen mit Auswahl wirkt. Ursprünglich stellte man sich vor, daß diejenigen Stoffe, die miteinander zu reagieren vermögen, ebenso wie Menschen gemeinsame Charakterzüge trügen und sich infolge dieser ähnlichen verwandten Eigenschaften gegenseitig angezogen fühlten. Aus diesem Gedankengang heraus nannte man den Antrieb chemische Verwandtschaft oder in lateinischer Übersetzung Affinität. Obwohl man heute von dieser gewiß sehr naiven Vorstellung durchaus abgekommen ist und nicht mehr in der Ähnlichkeit, sondern eher in der Gegensätzlichkeit den Ursprung chemischen Geschehens erblickt, hat man dennoch die Namen Verwandtschaft und Affinität beibehalten. Die Verwandtschaftslehre ist derjenige Zweig unserer Wissenschaft, der sich mit der Beschreibung und der Ergründung der chemischen Triebkräfte befaßt.

Wird eine chemische Reaktion durch die Affinität angetrieben, so hängt ihr Verlauf immer noch von den äußeren Umständen ab, von Temperatur, Druck, Aggregatzustand, Konzentration und anderem. In früheren Zeiten schenkte man diesen physikalischen Faktoren, diesen mehr oder weniger willkürlichen Versuchsbedingungen nicht genügend Beachtung und bewegte sich daher in einem Kreis von Irrtümern. So suchte man die Affinität, welche Säuren zwingt, sich mit Basen zu Salzen zu verbinden, dadurch abzuschätzen, daß man annahm, daß bei der Einwirkung einer stärkeren Säure auf das Salz einer schwächeren die letztere hinausgeworfen werde. Wenn beim Überschütten von Kochsalz mit konzentrierter Schwefelsäure Salzsäuregas entweicht, wenn also beim Wettbewerb der Säuren um die Base Natron die Salzsäure den Kürzeren zieht, so erklärte man dies damit, daß die Schwefelsäure die größere Affinität zur Base besäße und eine stärkere Säure wäre als Salzsäure. Solche Betrachtungen, die man auch bei anderen Reaktionen anstellen konnte, führten den

Schweden Bergmann im Jahr 1775 zum Begriff der chemischen Wahlverwandtschaft. Der Begriff, um den viel gestritten wurde, ist jedoch aus den gegenwärtigen Theorien wieder ganz verschwunden. Aufschlüsse über die Affinität erfordern eine viel durchdachtere Arbeitsweise, und ein derart primitiver Versuch wie die Zersetzung des Kochsalzes durch die Schwefelsäure ist zur Aufklärung völlig ungeeignet. Sein Ausfall hat mit Affinitätsfragen nicht das Geringste zu tun und bedeutet in Wirklichkeit nur die Bestätigung einer einfachen, ohnehin feststehenden Tatsache, nämlich der, daß Salzsäure leichter verdampfbar ist als Schwefelsäure. Der wahre chemische Sachverhalt ist der, daß, soweit die Base ausreicht, die beiden Säuren sich in sie teilen. Die nicht gebundenen Reste, die von den beiden Säuren in der Mischung übrigbleiben, benehmen sich nun so, wie sie auch in Abwesenheit eines Salzes sich verhalten. Aus einer Mischung von konzentrierter Schwefelsäure und Salzsäure entweicht die letztere, weil darin nur wenig löslich, sofort als Gas, und aus demselben Grund entströmt auch beim angegebenen Kochsalzversuch Salzsäuregas. Mit dem Entweichen als Gas räumt der eine der Bewerber freiwillig das Feld und überläßt dem anderen die Oberhand, der damit in die Lage kommt, das Teilungsverhältnis zugunsten des Sulfats zu verschieben. Dadurch werden neue Mengen von Salzsäure aus dem noch vorhandenen Bestand an Kochsalz in Freiheit gesetzt und als Gas entbunden, bis schließlich alles umgesetzt ist. Die jeweilige Einstellung des Teilungsverhältnisses ist die wahre Auswirkung der Affinität, und gerade hierüber besagt der Versuch überhaupt nichts Näheres. Deshalb überrascht es keineswegs, wenn andere einwandfreie und exaktere Versuche erweisen, daß nicht die Schwefelsäure, sondern ganz im Gegenteil die Salzsäure die stärkere Säure ist.

Die Sachlage wird viel durchsichtiger, wenn keine störenden Nebenumstände wie Schwerlöslichkeit, Gasentbindung und dergleichen hereinspielen. Ein einfacher, häufig vorkommender Fall ist der, daß eine wäßrige Lösung eine Base und zwei Säuren, diese beiden aber im Überschuß enthält. Die Base verbindet sich dann stets mit beiden Säuren und nicht bloß mit der einen, wie zu erwarten wäre, wenn eine Wahlverwandtschaft existierte. Wieviel von dem einen und wieviel von dem anderen Salz entsteht, richtet sich nach der Affinität, regelt sich jedoch auch nach den angewandten Säuremengen. Stärke und Menge einer Säure, beide zusammen, begünstigen den auf sie entfallenden Anteil der Base. Das, was der einen Säure durch ihre größere Stärke Überlegenheit verschafft, kann bei der anderen trotz geringerer Stärke durch Anwendung einer reichlicheren Menge wieder ausgeglichen werden.

Dieser Einfluß der Menge, mit dem bei sämtlichen Betrachtungen über die Affinität gerechnet werden muß, erfolgt nach bestimmten Gesetzen, die bei Gasen und bei verdünnten Lösungen sich leicht mathematisch formulieren lassen. Jeder am Umsatz beteiligte Stoff wirkt proportional seiner Masse, genauer ausgedrückt, proportional seiner Konzentration oder einer Potenz derselben mit. Diese Erkenntnis, welche von Berthollet 1801 vorgefühlt, von Guldberg und Waage 1867 klar ausgesprochen und von van't Hoff 1877 theoretisch bewiesen wurde, bildet den Inhalt des Massenwirkungsgesetzes.

Jede Reaktion verläuft mit einer bestimmten Geschwindigkeit. Im Falle der Salzbildung, einem augenblicklich vollendeten Vorgang, ist die Reaktionsgeschwindigkeit ungeheuer groß; in anderen Fällen hingegen, beispielsweise bei der Inversion

des Rohrzuckers oder bei der Veresterung von Säuren, dauert die Umwandlung Stunden und Tage, und dann ist die Reaktionsgeschwindigkeit der Messung zugänglich. Sie gibt an, wieviel Stoff sich in der Zeiteinheit umsetzt. Sie ist in der Regel zu Beginn der Reaktion am größten, verkleinert sich dann allmählich und sinkt am Schluß nach und nach auf Null herab.

Wählen wir das Beispiel zweier Reaktionsteilnehmer A_1 und A_2, die sich gemäß der Gleichung:

$$n_1 A_1 + n_2 A_2 = n_3 A_3 + n_4 A_4$$

so miteinander umsetzen, daß zusammen aus n_1 Molekülen A_1 und n_2 Molekülen A_2 jeweils n_3 Moleküle A_3 und n_4 Moleküle A_4 entstehen, so gilt für die Reaktionsgeschwindigkeit v:

$$v = k\, c_1^{n_1} c_2^{n_2}.$$

Unter c_1 und c_2 sind die Konzentrationen zu verstehen, welche die Stoffe A_1 und A_2 im Gas oder in der Lösung im Augenblick der Geschwindigkeitsbeobachtung haben. Die Umsatzzahlen n_1 und n_2 treten als Exponenten von Potenzen der Konzentrationen auf. Der Buchstabe k bedeutet eine konstante Zahl, die sich, welche Mengenverhältnisse auch genommen werden, bei gleichbleibender Temperatur nicht ändert. Die Zahl k, deren Wert aus Versuchen abzuleiten ist, und die das für das Wesen der Umsetzung Charakteristische mißt, führt die Bezeichnung Affinitätskonstante. Sie ist zu ermitteln und zu Schlüssen heranzuziehen, wenn man die Affinität ergründen will.

Viele Reaktionen sind umkehrbar. Wie in der Formulierung:

$$n_1 A_1 + n_2 A_2 \rightleftharpoons n_3 A_3 + n_4 A_4$$

die beiden Pfeile ausdrücken, vollzieht sich mit der vorwärts laufenden zugleich auch die entgegengesetzte, rückwärts führende Reaktion. Jede von ihnen hat ihre eigene Geschwindigkeit, und für die zweite gilt analog wie für die erste:

$$v' = k'\, c_3^{n_3} c_4^{n_4}.$$

Die Zahl k' ist die Affinitätskonstante der umgekehrten, mit der Geschwindigkeit v' verlaufenden Reaktion. Nach kürzerer oder längerer Zeit werden die Geschwindigkeiten beider Reaktionen einander gleich, und nun ist zwischen allen Stoffen ein Zustand des Gleichgewichts eingetreten, in welchem sich die Konzentrationen nicht mehr ändern. Soviel von den Stoffen durch die eine Reaktion verbraucht wird, genau ebensoviel wird im gleichen Augenblick durch die andere wieder zurückgebildet. Aus der Bedingung:

$$v' = v$$

folgt für das Gleichgewicht:

$$k'\, c_3^{n_3} c_4^{n_4} = k\, c_1^{n_1} c_2^{n_2}$$

oder umgeformt, wenn für den Quotienten $\frac{k}{k'}$ kurzweg K geschrieben wird:

$$\frac{c_3^{n_3} c_4^{n_4}}{c_1^{n_1} c_2^{n_2}} = K.$$

Der Quotient K wird Gleichgewichtskonstante genannt. Diese Konstante ist für zahlreiche chemische Gleichgewichte gemessen, so für die Esterbildung aus Säure

und Alkohol, beispielsweise für die Bildung von Essigester aus Essigsäure und Äthylalkohol:

$$CH_3CO_2H + C_2H_5OH \rightleftarrows CH_3CO_2C_2H_5 + H_2O,$$

bei welcher die Umsatzzahlen n sämtlich gleich Eins zu setzen sind. Um das Eintreten eines Gleichgewichts handelt es sich auch bei dem besprochenen Wettbewerb zweier Säuren um eine Base.

Die Mengenverhältnisse und die verschiedenerlei Nebenumstände machen zusammen das aus, was wir unter Versuchs- oder Arbeitsbedingungen verstehen. Abänderungen äußern sich im Gang der Reaktion, welche wir so zu zügeln, zu hemmen und zu fördern lernen. Merkwürdigerweise gibt es aber noch eine ganz andere Möglichkeit, den Verlauf zu beeinflussen, und diese besteht in der Zugabe eines Fremdkörpers, in der Zugabe von kleinen Mengen eines Stoffs, welcher mit der betreffenden Reaktion überhaupt gar nichts zu tun hat und sie, ohne sich selbst zu ändern, dennoch mächtig anpeitschen kann. Der fremde Stoff wird nach Berzelius als Katalysator und der beschleunigende Vorgang als eine Katalyse bezeichnet. Ein augenfälliges Beispiel ist das Knallgas. Wird in diese Mischung von Wasserstoff und Sauerstoff, die sich bei gewöhnlicher Temperatur jahrelang unverändert hält, ein dünnes Platinblech hineingesteckt, so verwandelt sie sich allmählich in Wasser. Das Metall wirkt als Katalysator, als Kontaktsubstanz, welche die es berührenden Gasanteile zur Umsetzung bringt. Je größer die Metalloberfläche ist, desto rascher verläuft die Reaktion; bei feinpulverigem, schwammigem Platin, wo jedes Körnchen seine eigene Oberfläche hat, gestaltet sie sich so heftig, daß die Kontaktsubstanz ins Glühen gerät und infolgedessen Explosion des gesamten Knallgases eintritt. Auf dieser Katalyse beruht die Konstruktion der Selbstanzünder für Leuchtgas, ferner das vor Aufkommen der Zündhölzer verwendete Döbereinersche Feuerzeug, ein Wasserstoffentwicklungsapparat, bei dem das herausströmende Gas durch Platinschwamm zur Entflammung gebracht wurde. Eine andere Katalyse haben wir bei Gelegenheit der Sauerstoffdarstellung aus Kaliumchlorat und Braunstein kennengelernt. Der Braunstein, der selbst keinen Sauerstoff abscheidet, ändert sich hierbei nicht; er erleichtert nur die Sauerstoffentbindung des Chlorats, ohne daran teilzunehmen, funktioniert folglich als Katalysator.

Die Katalysen sind sowohl wissenschaftlich als auch praktisch von größter Bedeutung. Die chemische Industrie macht von ihnen in weitem und zunehmendem Maße Gebrauch; wird sie doch durch dieselben in den Stand gesetzt, ihre Produktion zu beschleunigen und neue Produkte rationell herzustellen. Katalysatoren besonderer Art sind die für die physiologischen Vorgänge wichtigen Enzyme oder Fermente, Stoffe von noch unbekannter Zusammensetzung, die in tierischen und pflanzlichen Zellen entstehen und die chemischen Reaktionen des lebenden Organismus regeln. Sie sind die Urheber von Gärung, Fäulnis und Verwesung und schon in winzigen Mengen äußerst wirksam. Zu ihnen gehört die schon bei den Kohlehydraten erwähnte Diastase, welche Stärke zu Maltose abbaut.

Katalyse, Massenwirkung und alle anderen Faktoren zeigen, daß die Geschwindigkeit weitgehend beeinflußbar und nichts für die Reaktion Charakteristisches ist. Sie kann deswegen auch kein Maß der Affinität sein, denn diese bleibt sich dauernd

gleich. Um zu einem solchen zu gelangen, bedürfen wir der Thermochemie, d. h. der Lehre von der Wärmeentwicklung chemischer Vorgänge. Jede Verbrennung erweist, daß beim chemischen Geschehen große Wärmebeträge ins Rollen kommen können; aber auch sonst bei weniger gewaltsamen Reaktionen treten Wärmewandlungen ins Spiel. Man nennt die bei einem chemischen Prozeß sich entwickelnde Wärme Wärmetönung und mißt sie nach physikalischen Methoden in Kalorien. Manche Vorgänge sind keine Spender von Wärme, sondern umgekehrt Verbraucher, daran kenntlich, daß das Reaktionsgemisch anstatt sich zu erhitzen, sich abkühlt. Die Wärmetönungen sind also bald positiv, bald negativ und die Reaktionen bald exotherm, bald endotherm.

Die Größe der Wärmetönung hängt von der Versuchsdurchführung nicht ab. Entscheidend sind einzig und allein Anfangs- und Endzustand der Stoffe; was dazwischen sich ereignet, ist belanglos. Diese von der Theorie geforderte und vom Experiment sichergestellte Tatsache legt nahe, als Maß der Affinität einfach die Wärmetönung anzusprechen. Damit erreichen wir eine wichtige Vorstufe der heutigen Verwandtschaftslehre. Sie ist eine Unterlage des von Berthelot 1867 aufgestellten und von ihm zu einem Prinzip erhobenen Satzes, „daß jede chemische Umsetzung zur Entstehung derjenigen Stoffe Veranlassung gibt, welche die größte Wärmemenge entwickeln".

Bei aller Anerkennung, die dem Prinzip zu zollen ist, und bei aller Fruchtbarkeit, die ihm zukommt, ist es doch nicht der Inbegriff des wahren Zusammenhangs. So versagt es überall, wo die Reaktionen endotherm verlaufen; denn eine negative Wärmetönung ist kleiner als Null, also immer noch kleiner als die des ereignislosen Ruhezustandes. Zu erwarten wäre somit, daß alles in Ruhe verharrt; endotherme Reaktionen erschienen also unmöglich. Die notwendige Ausgestaltung des Prinzips ergibt sich aus tieferschürfenden Betrachtungen der Wärmetheorie. Jeder Vorgang, der sich von selbst abspielt, kann Arbeit leisten und damit Energie liefern. Das Maximum an Energie erhalten wir, wenn der Vorgang umkehrbar geleitet wird, und diese maximale Arbeit ist vollständig unabhängig von jeder apparativen oder maschinellen Einrichtung und von allen sonstigen Anordnungen. Auf die Chemie angewandt, führt dieser wärmetheoretische Grundsatz dazu, nicht die Wärmetönung, sondern vielmehr die maximale Arbeit, die eine Reaktion leisten kann, als Maß der Affinität zu betrachten. Die maximale Arbeit ist immer positiv, selbst auch dann, wenn die Reaktion endotherm verläuft.

Um die Affinität zu messen, haben wir die Reaktionen umkehrbar zu leiten und die sich einstellenden Gleichgewichte zu studieren. Aus der Gleichgewichtskonstanten K läßt sich dann auf einfachem mathematischem Wege die Affinität zahlenmäßig berechnen. Sehr oft können wir uns zu Zwecken der Affinitätsermittlung die Elektrochemie dienstbar machen; denn galvanische Elemente, die umkehrbar funktionieren, liefern die maximale Arbeit unmittelbar in Form elektrischer Energie. Sie gestatten, die Affinität kurzweg durch die Klemmspannung der Pole, also in Volt, zu messen. Zur Veranschaulichung sei das Daniellelement angeführt, bei dem nach dem Schema:

$$Zn \mid ZnSO_4 \mid CuSO_4 \mid Cu$$

ein Zinkblech als negativer Pol in Zinkvitriollösung und ein Kupferblech als positiver Pol in Kupfervitriollösung taucht. Der stromerzeugende Vorgang ist die Reaktion:

$$Zn + CuSO_4 = Cu + ZnSO_4,$$

die auch ohne galvanisches Element erfolgt und lediglich eine durch Zink bewirkbare Kupferabscheidung aus Kupfersalzlösungen darstellt. Der Strom, der in dem die beiden Klemmen verbindenden Leitungsdraht fließt, wird dadurch hervorgebracht, daß am negativen Pol sich Zink löst und am positiven sich Kupfer ausscheidet, daß demnach die Metalle den Ionenzustand vertauschen. Dies ist aber gerade der springende Punkt, auf welchen es nach der Reaktionsgleichung ankommt. Die Gegenwart der beiden Vitriole macht das Daniellsche Element zu einem umkehrbaren, denn wenn wir einen Strom in entgegengesetzter Richtung hineinschicken, so kehrt sich die Reaktion um; nun geht Kupfer in Lösung und scheidet sich Zink aus. Die elektromotorische Kraft des Daniellschen Elements mißt daher die Affinität, die sich beim Wettbewerb des Kupfers und Zinks um den metallischen Zustand betätigt. Wie für dieses können wir ähnlich für andere Metallpaare galvanische Elemente konstruieren und die Affinität messen. Beim Zusammenstellen der Resultate ordnen sich die Metalle nach der natürlichen Spannungsreihe, die mit den unedlen Alkalimetallen beginnt und mit den Edelmetallen aufhört. Alle diese Darlegungen bringen zur Einsicht, daß auch der galvanische Strom eine Auswirkung der chemischen Affinität ist.

C. Das periodische System.

Die Verwandtschaftskräfte haben ihren Sitz in den Atomen, und daher gehen Ergründung der Affinität und Erforschung des Wesens der Atome miteinander Hand in Hand. Das Problem gestaltet sich infolge der Vielfalt der chemischen Elemente sehr umfangreich und vielseitig, aber gerade diese Vielfalt erscheint uns, weil sie die Möglichkeit zum Vergleichen bietet, als durchaus willkommener Wegweiser. Als mit der Entdeckung zahlreicher neuer Grundstoffe im 19. Jahrhundert sich der Begriff des chemischen Elements zunehmend festigte und rundete, fielen unter ihnen mancherlei teils physikalische, teils chemische Ähnlichkeiten und Regelmäßigkeiten auf, die immer mehr die Aufmerksamkeit auf sich zogen und fesselten. Ganz von selbst gliederte sich die Gesamtheit der altbekannten und der neugefundenen Elemente in einzelne charakteristische Familien; so stieß man auf die Familie der Halogene und auf die der Alkalimetalle. Die Glieder einer Familie sind sich oft derart ähnlich, daß sie in früheren Zeiten verwechselt und übersehen wurden und auch heute noch Schwierigkeiten bei ihrer Trennung bereiten, wie dies beispielsweise bei den Alkalimetallen Lithium, Natrium, Kalium, Rubidium und Cäsium der Fall ist.

Der Zauberstab, der weitere Ordnung in das Vielerlei brachte, war das Atomgewicht. Schon im Jahre 1829 wurde von Döbereiner bemerkt, daß bei Gliedern der gleichen Familie einfache Zahlenbeziehungen zwischen den Atomgewichten bestehen. Jeweils drei Elemente einer Familie zeigen annähernd gleiche Unterschiede der Atomgewichte. Solche sog. Triaden sind:

Li	6,9	Cl	35,5	Ca	40,1
	16,1		44,4		47,5
Na	23,0	Br	79,9	Sr	87,6
	16,1		47,0		49,8
K	39,1	J	126,9	Ba	137,4

Zahlenbeziehungen ähnlicher Art begegnen wir bei allen Familien, und als merkwürdige Tatsache findet sich, daß die Differenzen von der Größenordnung 16 und 48 durchweg einen auffälligen Vorzug genießen. Das wahre Naturgesetz, das sich hinter diesen Regelmäßigkeiten verbirgt, ist im Jahre 1869 einerseits von Lothar Meyer, andererseits von Mendelejeff erkannt und als periodisches System der Elemente formuliert worden. Ordnen wir die Elemente nach steigenden Werten des Atomgewichts und schauen zu, wie in dieser Reihe von einem Glied zum nächsten die Eigenschaften sich ändern, so kommt ein eigentümlicher Rhythmus zum Vorschein. Die Eigenschaften folgen sich nicht kunterbunt, sondern in bestimmten Regeln und zwar so, daß sie nach einer gewissen Anzahl von Gliedern immer aufs neue sich wiederholen. Die ganze Reihe zerfällt in einzelne Perioden, die sich weitgehend ähneln. Schreiben wir die Perioden nicht hintereinander, sondern unter-

Periodisches System

Periode	Gruppe 0	Gruppe I a	Gruppe I b	Gruppe II a	Gruppe II b	Gruppe III a	Gruppe III b
I	*2* He 4,002	*3* Li 6,94		*4* Be 9,02			*5* B 10,82
II	*10* Ne 20,18	*11* Na 23,00		*12* Mg 24,32			*13* Al 26,97
III	*18* Ar 39,94	*19* K 39,10		*20* Ca 40,07		*21* Sc 45,10	
			29 Cu 63,57		*30* Zn 65,38		*31* Ga 69,72
IV	*36* Kr 82,9	*37* Rb 85,45		*38* Sr 87,63		*39* Y 88,93	
			47 Ag 107,88		*48* Cd 112,41		*49* In 114,8
V	*54* X 130,2	*55* Cs 132,81		*56* Ba 137,36		*57* bis *71* Seltene Erden*	
			79 Au 197,2		*80* Hg 200,61		*81* Tl 204,39
VI	*86* Em 222	*87* —		*88* Ra 225,97		*89* Ac	

*Seltene

V *57—71*	*57* La 138,9	*58* Ce 140,1	*59* Pr 140,9	*60* Nd 144,3	*61* —	*62* Sm 150,4

einander, so entsteht eine Tabelle, in der sich von selbst die Elemente ein und derselben Familie zu Kolumnen zusammenordnen. Die in den Familien auftretenden regelmäßigen Differenzen der Atomgewichte entpuppen sich einfach als Differenzen der Perioden. Die unten wiedergegebene Anordnung ist ein Schema des periodischen Systems, allerdings nicht in der ursprünglichen, sondern in der heutigen vervollkommneten Fassung. Die unter die Atomsymbole angeschriebenen Zahlen sind die Atomgewichte.

Die Entwicklung zum gegenwärtigen Stande vollzog sich einmal durch die seitdem erfolgte Auffindung zahlreicher neuer Elemente und ferner durch die physikalischen Wunder nie geahnter Strahlungen. Richtlinien zur Aufsuchung neuer Elemente traten schon in der ursprünglichen Fassung des Systems hervor; sie bestanden in der Ausfüllung vorhandener Lücken und waren vom besten Erfolg gekrönt. Darüber hinaus wurden jedoch noch weitere Grundstoffe entdeckt, die niemand voraussah. Es sind dies vor allem die Edelgase, reaktionsunfähige, farblose Gase wie Helium und Argon, die eine eigene streng abgegrenzte Familie bilden und sich als besonders charakteristische Meilensteine durch das ganze periodische System hindurchziehen. Wie aus dem aufgezeichneten Schema ersichtlich ist, werden die

der Elemente.

Gruppe IV a	Gruppe IV b	Gruppe V a	Gruppe V b	Gruppe VI a	Gruppe VI b	Gruppe VII a	Gruppe VII b	Gruppe VIII		
	6 C 12,00		*7* N 14,008		*8* O 16,000		*9* F 19,00			
	14 Si 28,06		*15* P 31,02		*16* S 32,06		*17* Cl 35,46			
22 Ti 47,90		*23* V 50,95		*24* Cr 52,01		*25* Mn 54,93		*26* Fe 55,84	*27* Co 58,94	*28* Ni 58,69
	32 Ge 72,60		*33* As 74,93		*34* Se 79,2		*35* Br 79,92			
40 Zr 91,22		*41* Nb 93,5		*42* Mo 96,0		*43* Ma		*44* Ru 101,7	*45* Rh 102,9	*46* Pd 106,7
	50 Sn 118,7		*51* Sb 121,76		*52* Te 127,5		*53* J 126,93			
72 Hf 178,6		*73* Ta 181,36		*74* W 184,0		*75* Re 186,3		*76* Os 190,9	*77* Ir 193,1	*78* Pt 195,2
	82 Pb 207,21		*83* Bi 209,0		*84* Po 210		*85* —			
90 Th 232,12		*91* Pa		*92* U 238,14						

Erden.

63 Eu 152,0	*64* Gd 157,3	*65* Tb 159,2	*66* Dy 162,5	*67* Ho 163,5	*68* Er 167,6	*69* Tu 169,4	*70* Yb 173,5	*71* Cp 175,0	

Perioden von einem Edelgas eröffnet, und dann folgen der Valenz nach steigend andere Elemente. Betrachten wir z. B. die zweite Periode, so springt uns diese Gesetzmäßigkeit von selbst entgegen. Auf das nullwertige Neon, dem Edelgas, folgt das einwertige Natrium, dann das zweiwertige Magnesium, das dreiwertige Aluminium, das vierwertige Silizium, der fünfwertige Phosphor, der sechswertige Schwefel und zuletzt das siebenwertige Chlor. Messen wir die Valenz nicht durch die Bindung von Sauerstoff, sondern durch die von Wasserstoff, so entschleiert sich uns ein anderes Bild, das die Periodizität noch viel drastischer offenbart. Die so gemessene Valenz ist inmitten der Periode am höchsten. Sie steigt anfänglich ebenso wie die erstere vom Neon bis zum Silizium von Null auf 4; sie sinkt aber im Phosphor wieder auf 3, im Schwefel auf 2 und im Chlor auf 1, um nun wieder Null zu werden, d. h. um mit dem Argon in die nächste Periode hinüberzuleiten. Die Periodizität äußert sich noch in vielen anderen Eigenschaften, so in der Neigung zum Ionenzustande. Während in der Mitte ein vierwertiges elektrochemisch neutrales Element sich befindet, wächst nach links bis zu einem Alkalimetall die Neigung zum positiven Ionenzustand und nach rechts bis zu einem Halogen die zum negativen.

Die beiden ersten Perioden umfassen je 8 Elemente, die nachfolgenden sind viel umfangreicher, und die dritte und vierte zählen je 18. Die dritte setzt mit dem Argon als Edelgas ein, dem sich zunächst regelrecht 7 Elemente bis zum siebenwertigen Mangan anreihen; dann folgen aber, einen Übergang bildend, im Eisen, Kobalt und Nickel drei einander nahestehende Vertreter der achten Familie, in der die Wertigkeit je nach der Bindungsart stark wechseln und sich bis auf 8 erhöhen kann. Hieran schließen sich 7 weitere Elemente, bei denen die Valenz wieder von 1 auf 7 steigt. Erst nach diesen ist die Periode ganz geschlossen, und nun beginnt die vierte mit dem Edelgas Krypton, um dasselbe Bild darzubieten. In der fünften Periode herrscht im großen ganzen dieselbe Regelmäßigkeit, nur mit dem merkwürdigen Unterschied, daß hier in der Kolumne der dreiwertigen Erdmetalle an Stelle eines einzigen Vertreters auf einmal 15 erscheinen. Diese sind sich chemisch so ähnlich, daß ihre Trennung, die noch durch ihre Seltenheit und Kostbarkeit erschwert wird, der erfahrensten Scheidekunst bedarf. Sie werden unter der Bezeichnung Metalle seltener Erden zusammengefaßt.

Jedes Element hat im periodischen System einen bestimmten Ort und bekommt damit in der fortlaufenden Reihe eine bestimmte Nummer oder Ordnungszahl. Diese Atomnummer ist in dem gegebenen Schema links vom Atomsymbol in kursiven Ziffern eingetragen. Sie legt eindeutig und sicher den Platz eines Elementes im periodischen System fest und ist in dieser Leistung sogar dem Atomgewicht überlegen, das z. B. im Falle des Tellurs und Jods dem 52. und dem 53. Element verkehrte Plätze anweisen würde. Die Atomnummer ist zu einem grundlegenden naturwissenschaftlichen Begriff geworden, dessen tieferer Sinn weit mehr noch als durch chemische durch rein physikalische Forschungen erhellt wird. Jedes chemische Element hat ein eigenes charakteristisches Röntgenstrahlenspektrum, und zwischen diesem Spektrum und der Atomnummer besteht eine einfache mathematische Beziehung, die von dem englischen Physiker Moseley im Jahre 1913 entdeckt worden ist. Auf Grund von Versuchen mit Röntgenstrahlen wissen wir heute genau die Atomnummer jedes Elements. Die Strahlungserscheinungen sind

nunmehr zum Führer durch das periodische System geworden, und damit hat das Atomgewicht seine tonangebende Rolle ausgespielt.

Das periodische System ist eines der großartigsten Naturgesetze, das die Menschheit dem Dunkel entrissen hat. Noch nicht sind alle Elemente entdeckt; aber trotzdem steht das Gesetz unerschütterlich fest, so fest, daß wir auf seiner Unterlage die fehlenden Grundstoffe mitsamt ihren Haupteigenschaften voraussagen können. So blieb zwischen den seltenen Erdmetallen und dem Tantal eine Lücke, bis v. Hevesy und Coster auf Grund theoretischer Erwägungen darauf kamen, in Zirkonmineralien nach dem fehlenden Element Nr. 72 zu fahnden. Sie wurden dadurch zum Entdecker des Hafniums und vollbrachten damit eine der glänzendsten Leistungen der modernen Chemie. Zurzeit sind mehrere Forscher an der Arbeit, die wenigen im periodischen System noch verbleibenden Lücken vollends auszumerzen.

D. Die radioaktiven Elemente.

Noch tiefer in die Geheimnisse der Natur, von welchen das periodische System nur ein Ausfluß ist, dringt der menschliche Geist durch das Studium der Radioaktivität ein, durch das Studium von Strahlungserscheinungen, welche sich an bestimmte Substanzen knüpfen und von diesen ununterbrochen ausgehen. Strahlen dieser Art senden das Element Uran und seine Verbindungen aus, wie H. Becquerel, der zu seinen Versuchen durch die kurz zuvor gemachten Entdeckungen Röntgens angeregt wurde, im Jahr 1896 auffand. Die Becquerelstrahlen besitzen ähnliche Eigenschaften wie die Röntgenstrahlen; sie sind unsichtbar, aber photographierbar; sie durchdringen feste Körper und machen die Luft leitfähig für Elektrizität.

Unerwarteterweise strahlen viele Uranverbindungen bedeutend intensiver als das freie Element selbst, sind also stärker radioaktiv als dieses. Als Ursache hierfür erkannte Marya Curie das Vorhandensein anderer Elemente, die das Uran an Strahlungsvermögen weit übertreffen und in den Uranmineralien in winzigen Mengen enthalten sind. Sie vermochte aus der Pechblende, dem wichtigsten Uranerz, eines dieser Elemente abzuscheiden und gab ihm im Hinblick auf seine ungeheure Radioaktivität, welche das Millionenfache von der des Urans beträgt, den Namen Radium. Ein anderes radioaktives Element, dessen Reinigung jedoch nicht gelang, nannte sie Polonium. Der Gehalt der Pechblende an Radium ist äußerst gering und macht auf 7 Tonnen Erz noch nicht ganz 1 g aus.

Das Radium ist der Prototyp der radioaktiven Elemente. Rein chemisch verrät es noch keinerlei Auffälligkeit; es ist ein Erdalkalimetall und dem Barium so ähnlich, daß anfänglich Zweifel herrschten, ob tatsächlich ein neues Element vorliegt. Die gewöhnlichen Radiumpräparate sind Salze des Metalls und von der Pechblende her oft noch bariumhaltig. Sie bilden kleine Kristallkörner, deren Radioaktivität sich nach dem Alter richtet; sie ist am geringsten beim frischen Präparat, erhöht sich rasch im ersten Monat und stellt sich allmählich auf ein Maximum ein. Von den gealterten Präparaten gehen dreierlei Strahlengattungen aus, die sich physikalisch scharf unterscheiden lassen: Die α-Strahlen, die nur geringe Durchdringungskraft besitzen, von der Luft leicht aufgehalten werden und positive Elektrizität mit sich führen. Die β-Strahlen, die ein sehr viel größeres Durchdringungsvermögen auf-

weisen und negative Elektrizität in sich tragen. Die γ-Strahlen, die ganz anderer Natur sind und eine Art Röntgenstrahlen von höchster Durchdringungskraft darstellen.

Die Radiumpräparate zeigen dank ihrer Radioaktivität eine Reihe höchst merkwürdiger Eigenschaften, die man bei anderen bisher bekannten Stoffen niemals beobachtete. Sie leuchten, wie im Dunkeln gut sichtbar ist, jahraus jahrein ununterbrochen von ganz allein. Sie entwickeln fortwährend von selbst Wärme und sind daher wärmer als ihre Umgebung. Sie erzeugen dauernd Elektrizität, die in Form von α- und β-Strahlen weggetragen wird. Sie elektrolysieren in gelöstem Zustand das Wasser und zersetzen es zu Knallgas. Die von ihnen ausgehende Strahlung löst chemische Reaktionen und physikalische Wirkungen aus und ruft auf der Haut schwer heilende Verbrennungserscheinungen hervor.

Die seltsamste aller Eigenschaften ist die, daß die Radiumpräparate die gesamte Umgebung, Luft, Geräte und Wände, mit Radioaktivität anstecken. Diese Infektion hat eine sehr einfache, aber folgenschwere Erklärung gefunden. Den Radiumpräparaten entströmt von ganz allein und ununterbrochen in minimalen Mengen ein gasförmiger Stoff, der selbst wieder radioaktiv ist, sich in der Luft ausbreitet und auf allen Gegenständen einen Niederschlag neuer radioaktiver Substanz absetzt. Das Gas, das die Bezeichnung Radiumemanation erhalten hat, ist verschieden von jedem bekannten Stoff; es stellt ein neues chemisches Element dar, das zu keinerlei chemischer Reaktion gezwungen werden kann und infolgedessen zu den Edelgasen zu rechnen ist. Es findet im periodischen System, dessen letzte Periode es eröffnet, Unterkunft mit der Nummer 86.

Die Emanation ist hoch radioaktiv. Diese Radioaktivität hat aber keinen Bestand; sie sinkt in rund 4 Tagen auf die Hälfte, um im Verlauf von einigen Wochen allmählich ganz zu verschwinden. Parallel damit vollzieht sich eine stoffliche Umwandlung, bildet sich ein nicht mehr radioaktives, wohlbekanntes anderes Edelgas: Die Emanation verwandelt sich in Helium. Aus dem Element Radium entsteht die Emanation, daraus das Element Helium, und mit diesem von Ramsay und Soddy im Jahr 1903 erbrachten Nachweis ist zum erstenmal in der Geschichte der Chemie einwandfrei dargetan, daß chemische Elemente zerfallen und sich in einander verwandeln können.

Die Radioaktivität ist nichts anderes als das äußere Anzeichen des stattfindenden Atomzerfalls. Rutherford ist der geniale Forscher, der diese Zerfallshypothese theoretisch begründet und experimentell geistvoll ausgearbeitet hat. Die Atome der radioaktiven Elemente sind unbeständig; sie zerbersten aus irgendeinem Anlaß, und bei dieser Explosion werden Bruchstücke mit ungeheurer Wucht als α- oder β-Strahlen hinausgeschleudert. Die Natur der Bruchstücke ist vollständig aufgeklärt. Diejenigen Bruchstücke, die als β-Strahlen fortsausen, sind identisch mit den Elektronen, d. h. mit den kleinsten Quanten negativer Elektrizität; diejenigen, die als α-Strahlen fliegen, sind viel tausendmal schwerer und haben sich als positiv geladene Heliumatome erwiesen. Auf der Ausschleuderung von α-Strahlen beruht der Zerfall der Emanation; die α-Teilchen werden irgendwo in ihrem rasenden Laufe angehalten, sie nehmen dort Elektronen auf und neutralisieren sich so zu gewöhnlichen Heliumatomen.

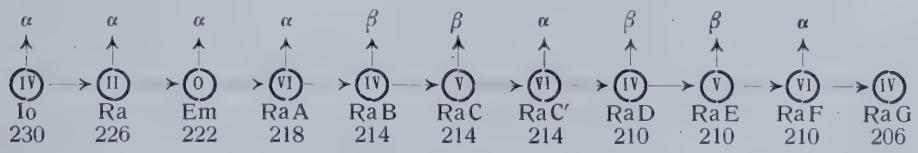
Jedes Emanationsatom schleudert nur ein einziges α-Teilchen ab; der übrig-

bleibende Hauptteil bildet nun das Atom eines neuen Elements, das nicht mehr gasförmig ist, sich daher auf Gegenständen niedersetzt und so zur Ursache der radioaktiven Infektion wird. Dieses neue Element hat eine Lebensdauer von nur wenigen Minuten, und unter Abwerfen eines weiteren α-Teilchens entsteht aus ihm wieder ein anderes, das dann β-Teilchen abschießt. Der Zerfall geht so weiter, indem bald ein α-Teilchen bald ein β-Teilchen vom Abbau betroffen wird. Schon das Radium selbst ist einem solchen Zerfall unterworfen; nur spielt er sich hier viel langsamer ab, da die Lebensdauer des Radiums sehr groß ist und sich nach mehreren tausend Jahren bemißt. Schleudert das Radiumatom ein α-Teilchen ab, so hinterbleibt ein Emanationsatom und sinkt das Atomgewicht um das Gewicht eines Heliumatoms von 226 auf 222, wie durch subtile Messungen erwiesen wurde.

Das Radium ist ein dem Untergang geweihtes Element und wäre sicher schon längst auf unserem Planeten ausgestorben, entständen nicht immer wieder neue Mengen desselben. Die Bildung erfolgt aus einem langlebigen Element heraus, aus dem Jonium, das seinerseits über verschiedene Zwischenelemente hinweg aus dem Uran abstammt, dessen Lebensdauer Milliarden von Jahren beträgt. Neben der Radiumreihe leitet sich vom Uran noch eine zweite ab, die zur Actiniumreihe führt. Außer diesen beiden Reihen radioaktiver Elemente ist überdies noch eine dritte bekannt, die beim Thorium beginnt, und deren wichtigster Vertreter das dem Radium sehr ähnliche Mesothorium ist. Emanationen treten in allen drei Reihen auf; während aber die Radiumemanation Wochen braucht, bis sie ganz abgestorben ist, sind bei der Thoriumemanation nur wenige Minuten und bei der Aktiniumemanation sogar nur wenige Sekunden hierzu erforderlich.

In den Zerfallsreihen, soweit sie sich den drei Emanationen anschließen, treten gemeinsame Analogien hervor, die man durch gleichartige Benennungen zu betonen trachtet. Man wählt hierfür die Buchstaben des Alphabets, die man dem Namen des Mutterelements beifügt. Aus der Radiumemanation heraus bildet sich also das Radium A, aus diesem das Radium B usw., bis schließlich beim nicht mehr radioaktiven Radium G der Zerfall sein Ende erreicht. Das vorletzte Produkt, das Radium F ist identisch mit dem Polonium der Frau Curie.

Der radioaktive Abbau ändert die Eigenschaften der Atome von Grund aus um und schiebt die Elemente zwischen den verschiedenen Familien des periodischen Systems hin und her. Wie einerseits von Soddy, andrerseits von Fajans festgestellt wurde, erfolgen diese Wechsel gesetzmäßig und zwar derart, daß bei der α-Strahlung sich die Familiennummer um 2 erniedrigt und bei der β-Strahlung um 1 erhöht. Zur Kennzeichnung dieses Gesetzes, bei welchem Periodenanfang 0 und Periodenende 8 gleich zählen, sei folgendes Beispiel herausgegriffen:



Die Kreise bedeuten Atome, die römischen Ziffern die Familiennummer und die arabischen die Atomgewichte. Infolge des Hin- und Herrückens geraten die verschiedenen Zerfallsprodukte nicht immer in neue, sondern nach einer größeren oder

kleineren Anzahl von Veränderungen wieder in die gleiche Familie hinein. So gehören ebenso wie das Ionium auch das Radium B, das Radium D und das Radium G alle zur Familie der vierwertigen Elemente.

In manchen Fällen zeigen solche zusammengehörenden Elemente genau die gleichen chemischen Eigenschaften wie schon längst bekannte, nicht radioaktive Vertreter derselben Familie, so daß sie weder von diesen noch voneinander chemisch getrennt werden können. So sind z. B. Radium B und Radium G, obwohl sie ein ganz anderes Atomgewicht haben, chemisch von Blei nicht mehr unterscheidbar. Das Radium G muß sich als letztes nicht weiter zerfallendes Produkt in Uranerzen im Laufe geologischer Zeiträume zu ganz erheblichen Mengen ansammeln, und daher wird ein Blei solchen Herkommens ein anderes Atomgewicht als das gewöhnliche aufweisen. Hönigschmidt hat diese Frage nachgeprüft und in der Tat bestätigen können, daß Blei aus alten Uranerzen das dem Radium G entsprechende Atomgewicht 206,05 hat, während Blei aus Bleiglanz und anderen uranfreien Mineralien den normalen Wert 207,23 ergibt.

Dem Radium G und dem Blei ist im periodischen System ein und derselbe Platz anzuweisen. Derartige Elemente, die wie diese bei ungleichem Atomgewicht dieselbe Atomnummer beanspruchen, bezeichnet man als Isotope und eine Gruppe zusammengehörender Isotopen als Plejade. Die Isotopen können der verschiedenartigsten Abstammung sein, und so bildet beispielsweise das Radium eine Plejade mit Abkömmlingen des Thoriums und des Actiniums, nämlich mit Mesothorium 1, Thorium X und Actinium X.

E. Die Natur der Atome.

Die Strahlungsforschungen haben die Erkenntnis vom Wesen der Materie in so hohem Maße gefördert, daß wir in der Lage sind, uns zuverlässige anschauliche und fruchtbare Vorstellungen vom Bau der Atome zu machen. Rutherford hat aus seinen Beobachtungen geschlossen, daß die Atome gewissermaßen Planetensysteme seien, bei denen um einen Kern positiver Elektrizität negative Elektronen kreisen. Der Kern ist der eigentliche materielle Bestandteil der Atome, deren chemische und physikalische Eigenschaften er bestimmt. Er ist verschwindend klein und seine räumliche Ausdehnung auch im Vergleich zum Gesamtatom noch so außerordentlich gering, daß sein Durchmesser von dem der Elektronenbahnen noch um mehr als das 10000fache übertroffen wird. Diese Vorstellungen haben durch Bohr, der die Quantenlehre auf sie anwandte, festen Boden gewonnen. Nicht in beliebigen Bahnen können die Elektronen kreisen, sondern nur in solchen mit bestimmtem, durch Quanten geregeltem Energieinhalt. Das Schwergewicht dieser Betrachtungsweise, die bei atomistischen Vorgängen nur quantenmäßige Aufnahme und Abgabe von Energie zuläßt, liegt im Gebiete der Physik, wo sie näher behandelt ist. Abb. 115 veranschaulicht die Elektronenbahnen des Heliumatoms und Abb. 116 die des Natriumatoms.

Die Anzahl der kreisenden Elektronen ist durch die Kernladung gegeben und bemißt sich so, daß nach außen hin elektrische Neutralität besteht. Die Kernladung beträgt, abgesehen vom Vorzeichen, ein ganzzahliges Vielfaches von der Ladung eines Einzelelektrons, und daher ist ein derartiger neutraler Zustand stets möglich.

Wir können alle Ladungen in Elektroneneinheiten messen, und indem wir dies tun, gewinnt unser Atommodell wesentlich an Anschaulichkeit. Wir ebnen damit dem Verständnis der Ursachen des periodischen Systems die Wege und gelangen sofort zu einer wichtigen grundlegenden Tatsache: Die Kernladung ist gleich der Atomnummer. Die Kernladung ist daher für alle Elemente bekannt.

Der chemische Charakter eines Elements ist einzig und allein durch die Kernladung festgelegt. Wenn es also Elemente gibt, deren Kerne ungleich groß, aber gleich geladen sind, so können sie chemisch keinerlei Unterschiede aufweisen. Solche Elemente sind die Isotopen, von denen wir nun wissen, daß ihre Kerne wohl dieselbe Ladung, nicht aber denselben Betrag an Materie beherbergen. Ausgehend von dem Gedanken der universellen Einheit der Materie führt uns dieser Nachweis zu der Annahme, daß die Kerne selbst wieder zusammengesetzte Gebilde sind. Den kleinsten Kern hat das Element mit der Atomnummer 1, und dies ist der Wasserstoff, in dessen Atom nur ein einziges Elektron kreist. Wird dieses Elektron entfernt, so hinterbleibt das einwertige Wasserstoffion, das folglich den Wasserstoffkern darstellt. Kleinere Kerne sind unbekannt, und deshalb erblicken wir im Wasserstoffion die wahre Urmaterie. Dieser besonderen Bedeu-

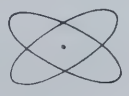


Abb. 115.

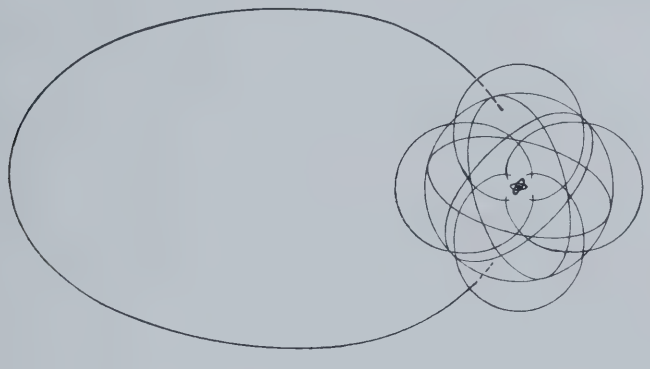


Abb. 116.

tung entsprechend hat der Wasserstoffkern die Bezeichnung Proton erhalten, so daß wir nun aussprechen können: Die gesamte materielle Welt ist aus Protonen und Elektronen aufgebaut.

Hierdurch wird die Sonderstellung des Wasserstoffs, der außerhalb jeder Elementenperiode steht, verständlich. Alle anderen Elemente besitzen zusammengesetzte Kerne, die jedoch nicht allein aus Protonen, sondern dazuhin noch aus Elektronen aufgebaut sind. Die vorhandenen Protonen legen, weil sie wägbare Materie sind, das Atomgewicht fest; sie bestimmen indessen noch nicht ohne weiteres die Kernladung, denn diese ergibt sich erst durch Subtraktion der Elektronenzahl von der Protonenzahl. Isotope sind sonach solche Elemente, in deren Kern die Differenz zwischen Protonenzahl und Elektronenzahl denselben Wert hat. Angeregt durch solche Betrachtungen hat man Umschau gehalten, ob nicht auch bei den nicht radioaktiven Elementen Isotopie möglich ist und sich zu diesem Zweck der

Kanalstrahlen bedient, in welchen man die betreffenden Atome zum Dahinsausen brachte.

Die Versuche waren erfolgreich und zeigten, daß tatsächlich viele wohlbekannte und für einheitlich gehaltene Elemente in Wirklichkeit Mischungen sind. So fand Aston, der verdienstvollste Bearbeiter dieser Fragen, daß das Chlor aus zwei Isotopen besteht, von welchen das eine das Atomgewicht 35 und das andere in geringerer Menge vorhandene das Atomgewicht 37 hat. Manche Elemente mischen sich aus ziemlich vielen Isotopen zusammen, z. B. das Quecksilber aus nicht weniger als sieben. In der Tatsache der isotopen Mischung ist der Grund zu suchen, warum so viele Elemente Atomgewichte haben, die noch nicht einmal annäherungsweise ganzzahlig sind.

Der unmittelbare Beweis für das Zusammengesetztsein des Kerns liegt in den Erscheinungen der Radioaktivität. Wenn ein Radiumatom beim Zerfall ein α-Teilchen abschießt, so entstammt dieses sicher nur dem Radiumkern, aus dem es herausbricht, um nachher als selbständiger Heliumkern aufzutreten. In ähnlicher Weise sind die β-Teilchen aus dem Kern ausgeschleuderte Elektronen, und so bilden die radioaktiven Strahlen beredte Zeugen dafür, daß die Kerne tatsächlich teilbar sind. Warum der Zerfall des Kerns beim einen Element so leicht und beim anderen überhaupt nicht eintritt, lehrt uns ein Blick auf das periodische System. Die radioaktiven Elemente zeigen die größten Atomgewichte, haben folglich die größten Kerne, und eben die Kompliziertheit des Kerns ist die Ursache seiner Unbeständigkeit. Die kleineren Kerne, wie sie in den nicht radioaktiven Elementen vorliegen, sind einfacher zusammengesetzt und daher beständig. Daß aber auch sie zertrümmerbar sind, hat Rutherford festgestellt, indem er zur Zerstörung ein Bombardement mit α-Strahlen vornahm. So gelang es, aus den Atomkernen des Stickstoffs und anderer Elemente, Wasserstoffkerne herauszuschlagen und zu beweisen, daß die Umwandelbarkeit von Elementen sich nicht auf die radioaktiven Substanzen beschränkt.

Für die gewöhnlichen chemischen Vorgänge sind alle diese Umwandlungen völlig belanglos; für sie kommt der Kern nur als dauerhaftes unveränderliches Gebilde in Betracht. Alles, was sich bei ihnen im Atom ereignet, hat seinen Sitz lediglich in der Schar der ihn umkreisenden Elektronen und betrifft hauptsächlich die äußersten von diesen. Die chemische Reaktion verändert die Anordnung der Elektronenbahnen; je nachdem dabei Elektronen weggehen oder hinzukommen, entsteht ein positives oder negatives Ion. Die stabilste Elektronenanordnung besteht in den Atomen der Edelgase, und alle anderen Elemente sind, wie die von Kossel entwickelte Theorie annimmt, bestrebt, durch Abstoßung oder Aufnahme von Elektronen sich auf die Edelgaskonfiguration einzustellen. Ein einfaches Beispiel soll dies näher erläutern. Das Neon hat die Atomnummer 10; sein Kern wird von 10 Elektronen umkreist, von denen sich 2 in einer inneren und 8 in einer äußeren Zone bewegen. Das ihm im periodischen System vorangehende Fluor, in dessen Atom 9 Elektronen kreisen, enthält in der äußeren Zone nur 7, muß also noch 1 Elektron aufnehmen, um sich auf die Edelgaskonfiguration einzustellen. Diese Aufnahme macht das Atom zum negativen Ion, und so findet der elektrochemische Charakter des Fluors in der Elektronenanordnung eine vorzügliche Erklärung. Dasselbe ist der Fall beim Natrium, das als elftes Element 11 umkreisende Elektronen hat und

eines davon abgeben, folglich zum positiven Ion werden muß, um auf die Edelgaskonfiguration zu gelangen. Derartige und noch vielerlei andere Beziehungen lehren, daß die Periodizität im periodischen System in der Elektronenanordnung der Edelgase ihren Ursprung hat.

Alle Valenzbetätigungen hängen vom Verhalten der äußeren Elektronen ab, nicht nur in den Fällen, wo Ionen entstehen, sondern auch in denjenigen, wo Atomverkettungen zustande kommen. Jede Verkettung beruht auf der Tätigkeit von Elektronen, welche die Atome gewissermaßen aneinanderkitten, und welche das wahre Wesen dessen ausmachen, was wir in den Strukturformeln durch Striche ausdrücken. Für jede sich bindende Valenz kommt gerade ein Elektron ins Spiel, und daher entsprechen jedem Strich 2 Elektronen, von denen aber nicht mehr gesagt werden kann, daß sie zum einen oder zum anderen Bindungspartner gehören. Sie sind beiden Partnern gemeinsam, und ihre Bahnen umschlingen gleichzeitig die Kerne beider. Wie auf die anderen Elektronen, so läßt sich auch auf die bei Valenzfragen ins Spiel tretenden die Quantenlehre mit Erfolg anwenden. Die für solche Valenzelektronen in Betracht kommenden Strahlungen liegen im Bereich der Lichtstrahlen und zwar sowohl in dem der sichtbaren als auch in dem der ultravioletten.

Mit diesen Darlegungen betreten wir das Gebiet der Photochemie, d. h. desjenigen Zweigs der Naturwissenschaft, der sich mit den chemischen Wirkungen des Lichts befaßt. Die photochemischen Vorgänge sind sehr mannigfaltig, und von den vielen Beispielen sei nur auf die Photographie und auf die Kohlensäureassimilation in den Pflanzen hingewiesen. Ob ein Lichtstrahl auf eine Substanz chemisch einwirkt oder nicht, hängt in erster Linie von seiner optischen Beschaffenheit ab. Die Optik unterscheidet die Lichtstrahlen nach der Wellenlänge und zeigt, daß die Strahlen je nach dieser von der Substanz durchgelassen oder verschluckt werden. Hierauf fußt das wichtige, von Grotthus 1817 dargelegte Grundgesetz, daß nur diejenigen Lichtstrahlen chemisch wirksam sein können, die von der Substanz absorbiert werden. Auf das Bromsilber photographischer Platten wirken daher wohl die violetten Strahlen, weil sie absorbiert werden, stark ein, nicht dagegen die roten, die von ihm durchgelassen werden. Farblose Substanzen lassen alles sichtbare Licht durch, das sie daher nicht anzugreifen vermag; viele von ihnen absorbieren aber ultraviolettes Licht, das sie dann verändert. Dies ruft den Eindruck wach, als ob die ultravioletten Strahlen besonders chemisch wirksam seien.

Die Lichtwirkungen regeln sich wahrscheinlich nach dem photochemischen Äquivalentgesetz von Einstein, das ausspricht, daß für jedes absorbierte chemisch wirksame Lichtquantum gerade ein Molekül der Substanz sich umwandelt. Das Gesetz trifft in der Tat in einer Reihe von Fällen zu, kann aber nicht ohne weiteres als allgemein gültig angesehen werden und zwar deswegen nicht, weil an den primären Lichtvorgang sich sofort rein chemische anschließen, welche die wahre Sachlage verschleiern. Ein vielfach untersuchtes Beispiel dieser Art ist die in blauem, violettem oder ultraviolettem Licht erfolgende Vereinigung von Wasserstoff und Chlor zu Chlorwasserstoff. Die absorbierende Substanz ist das Chlorgas, von dem sich aber für jedes aufgenommene Lichtquant viele tausend Moleküle an der Umwandlung beteiligen. Dennoch dürfte der Lichtvorgang quantenmäßig verlaufen.

Er besteht darin, daß die Chlormoleküle Lichtquanten aufnehmen und sich dadurch in Chloratome spalten. Anstatt nun glatt mit dem Wasserstoff zu reagieren, verstrickt sich jedes dieser Spaltungsprodukte in eine lange Kette von Einzelvorgängen; durch unzählige Zusammenstöße bald mit Wasserstoffmolekülen, bald mit Chlormolekülen erzeugt es in noch nicht ganz klarer Weise eine sehr große Anzahl von Salzsäuremolekülen.

Eine hiervon etwas abweichende Erklärung, die aber auf ähnliche Folgevorgänge hinausläuft, faßt die Quantenwirkung nicht als eine Spaltung, sondern als eine Aktivierung der Chlormoleküle auf. Die aktivierten Moleküle befinden sich in einem reaktionsfähigeren Zustand, den sich die Quantenlehre als eine Erweiterung der Valenzelektronenbahn vorstellt. Solche Aktivierungen sind für vielerlei photochemische Vorgänge nachgewiesen. Sie sind bedeutungsvoll für die Vertiefung der Verwandtschaftslehre und legen ein weiteres Zeugnis von dem segensreichen Einfluß ab, den die Erforschung der Strahlung auf unser chemisches Wissen ausübt.

* * *

Dritter Teil

Angewandte Physik

Von Geh. Rat Prof. Dr. Otto Wiener †

Gliederung des dritten Teiles

Seite

1. Einführung 229
2. Angewandte Lehre vom Gleichgewicht der Kräfte (Statik). Träger. Fachwerke 229
3. Einfache Maschinen. Seilmaschinen. Werkzeugmaschinen. Zeitersparnis der Maschinen 231
4. Angewandte Kraftlehre. Hämmer. Fliehkraft. Kreisel 232
5. Angewandte Wasser- und Luftkraftlehre. Wasserturm. Schornstein. Talsperre. Wasserräder. Turbinen. Luftschraube. Zentrifuge 234
6. Luftfahrt. Freiballon. Sondenballon. Luftschiff. Flugzeug. Segelflug 237
7. Neuere Wetterkunde (Meteorologie) 241
8. Aus der angewandten Schallehre. Hörsamkeit der Räume. Kondensatormikrophon. Blatthaller 246
9. Angewandte Wärmekraftlehre. Dampfmaschine. Dampf- und Gasturbine. Kältemaschine 247
10. Angewandte Lehre vom Licht. Augenspiegel. Photometer. Fernrohr. Entfernungsmesser. Mikroskop. Ultramikroskop. Lichtbildnerei (Photographie) 250
11. Starkstromtechnik. Dynamo. Elektromotor. Elektrische Beleuchtung. Dreileitersystem. Elektrische Fern-Kraftübertragung 257
12. Schwachstromtechnik und drahtlose Fernzeichen. Telegraph. Telephon. Mikrophon. Drahtlose Telegraphie und Telephonie 260

1. Einführung.

Daß die Physik durch den Bau von Apparaten zu einer Erweiterung unserer natürlichen Sinne geführt hat, darauf wurde schon im Abschnitt 32 des ersten Teiles hingewiesen. Die Anwendung ihrer Gesetze führt weiterhin zu einer künstlichen Erweiterung der Gliedmaßen. Alle Hämmer, Schrauben, Hebel, Keile, Räder, Drehbänke usw. können als solche aufgefaßt werden.

Der Mensch hob sich in dem Augenblick aus der Tierwelt heraus, als es ihm gelang, sich Werkzeuge zu schaffen. Mit der Entwicklung dieser Werkzeuge geht der Aufstieg zu höherer Kultur Hand in Hand.

Später kommt die Nutzbarmachung der in der Natur vorkommenden Energien, z. B. des fließenden Wassers hinzu. Wasserräder findet man bereits im Flußgebiet von Mesopotamien und am Nil. Die ersten Mühlen, denen man durch eine Holzrinne Wasser zuführte, findet man erst etwa im vierten Jahrhundert n. Chr. Und diese Erweiterung der dem Menschen vermöge seiner eigenen Arbeitsfähigkeit zu Gebote stehenden Energie durch die natürlichen Energien der Erde haben einen neuen und für das ganze Dasein der Menschheit noch tiefer greifenden Einfluß gehabt.

Im folgenden soll daher dargestellt werden, welche Anwendungen der Physik in dieser Richtung besonders wichtig geworden sind. Diese Anwendungen umspannen, von den Anwendungen der Chemie abgesehen, fast das ganze Gebiet der Technik.

2. Angewandte Lehre vom Gleichgewicht der Kräfte (Statik).

Träger, Fachwerke.

Wenn die Aufgabe besteht, zwei erhöhte Punkte über einen Hohlraum hinweg miteinander zu verbinden, wie die zwei Mauern eines Hauses, auf das ein Dach gesetzt werden soll, oder die Ufer eines Flusses, die durch eine Brücke miteinander verbunden werden sollen, so erscheint es als das einfachste, wenn der Abstand der beiden Punkte nicht zu groß ist, sie durch einen einfachen Balken zu überbrücken. Wie ändert sich aber seine Form, wenn man den Balken in der Mitte belastet?

Diese Veränderung ist in Abb. 117 dargestellt. Man erkennt, daß die obere Faser a zusammengedrängt, die untere c auseinandergezogen wird, und nur eine mittlere Faser b ändert ihre Länge nicht und wird deshalb als neutrale Faser bezeichnet. Es ist klar, daß dabei gar nicht der ganze Balken in gleichförmiger Weise zum Tragen des Gewichts beiträgt. Es kommt noch hinzu, daß die Durchbiegung des Balkens in der Mitte bei doppeltem Abstand der Unterstützungspunkte, also

bei etwa doppelter Länge des Balkens und bei gleicher Belastung in der Mitte achtmal so groß ist wie bei einfacher Balkenlänge. Da ergibt sich schließlich bei zunehmendem Abstand der Unterstützungspunkte die Unmöglichkeit, auf diese Weise überhaupt eine feste Verbindung herzustellen, da dann der Balken vermöge seines eigenen Gewichtes durchbrechen müßte.

Ganz anders liegt die Sache, wenn ein Stab nur auf Zug oder Druck beansprucht wird. In diesem Falle wird der ganze Querschnitt in gleicher Weise belastet. Wie er auf die Belastung antwortet, ergibt sich am einfachsten, wenn man (s. Abb. 119) eine Feder durch ein Gewicht belastet. Dabei wird die Feder zusammengedrückt und zu einer Gegenkraft veranlaßt, die ebenso groß ist wie das belastende Gewicht. Aber auch, wenn man einen lotrecht gestellten Balken durch ein Gewicht belastet, tritt eine, wenn auch nur mit feinsten Mitteln nachweisbare, Zusammendrängung des Balkens ein. Die Folge davon ist die gleiche wie vorhin. Es tritt eine Antwortkraft (Reaktionskraft) von gleicher Größe auf, wie das belastende Gewicht.

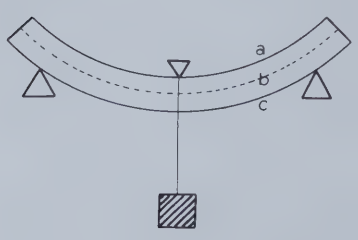


Abb. 117. Neutrale Faser (b) eines gebogenen Stabes.

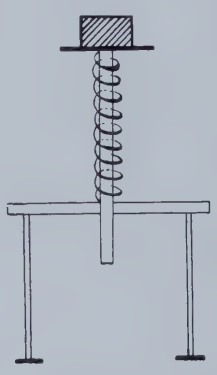


Abb. 118. Gegenkraft (Reaktion) einer belasteten Platte.

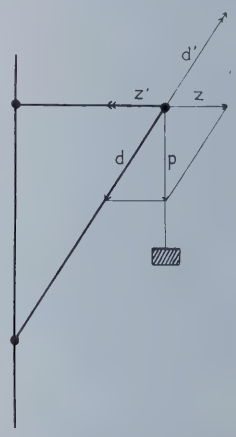


Abb. 119. Kräftezerlegung b. einem belasteten Wandarm.

Die Aufgabe ist daher, eine Trägervorrichtung so anzuordnen, daß sie aus einzelnen, gelenkartig verbundenen Stäben besteht, die nur auf Zug oder Druck beansprucht werden.

Als besonders einfaches Beispiel diene ein Wandarm, der ein Gewicht tragen soll. Die beiden Arme sind durch ein Gelenk miteinander verbunden (s. Abb. 119). Auch an den Stellen, wo der Arm an der Wand befestigt ist, sollen Gelenke angebracht sein. Um diese Gelenke herum ist also eine Drehung denkbar. Ist nach der Belastung Gleichgewicht eingetreten, so erfährt ein Arm keine Kraft mehr, die ihn drehen könnte, weil ja sonst tatsächlich eine solche Drehung eintreten würde. Die einzigen noch vorhandenen Kräfte an dem Balken sind Zug- oder Druckkräfte. Im Punkte, wo das Gewicht angehängt ist, muß also Gleichgewicht zwischen drei Kräften eintreten, nämlich zwischen der Kraft p, die das Gewicht darstellt, und den beiden Gegenkräften, die von den beiden Armen ausgehen. Um ihre Größe zu erfahren, zerlege man die Kraft p (s. Abb. 119) in zwei Anteile, gleichlaufend den beiden Armen. Man erhält so die drückende Kraft d, die eine gleich große Gegenkraft d' hervorbringt, sowie die ziehende Kraft z, die eine gleich große Gegenkraft z' bewirkt. Es müssen also die drei Kräfte p, z' und d', aneinander getragen, die Kraft Null ergeben, d. h. sie müssen zum Ausgangspunkt zurückführen. Die drei Kräfte p,

z′ und d′ müssen also ein geschlossenes Dreieck ergeben (s. Abb. 120). Man nennt diese Darstellung einen Kräfteplan, und das ist das allgemeine Verfahren, nach dem man in noch so verwickelten Fällen die Zug- oder Druckkräfte erfährt, denen die Balken ausgesetzt sind. Ihre Stärke ist also so bemessen, daß sie diese Beanspruchungen aushalten.

Als Beispiel eines solchen Fachwerkes diene das in Abb. 121 gezeichnete Dachgefüge und die in Taf. 2 dargestellte Brücke. Der Hauptträger hat dabei eine solche Form erhalten, daß er die Last im Bogen auf die Grundstütze überträgt.

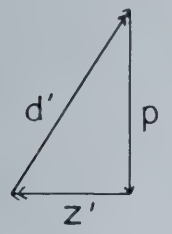


Abb. 120. Kräfteplan zum belasteten Wandarm.

Abb. 121. Dach-Fachwerk.

Zugleich erkennt man bei der Brücke, daß sachgemäß durchgeführte Berechnungen und Zeichnungen zu einem schönen Ergebnis führen. Dieser Eindruck ist dadurch bedingt, daß die Aufgabe mit den geringsten Mitteln gelöst wird, ebenso wie wir eine Bewegung anmutig nennen, die mit einem geringsten Kraftaufwand vollführt wird.

3. Einfache Maschinen.

Seilmaschinen. Werkzeugmaschinen. Zeitersparnis der Maschinen.

Unter einer einfachen Maschine versteht man eine Vorrichtung, die die Aufgabe hat, entweder die Richtung einer Kraft zu verändern, oder ihre Größe oder beides.

Die einfachste Vorrichtung, die Richtung einer Kraft zu verändern, ist die Rolle (s. Abb. 122). Wenn man ein Gewicht in die Höhe ziehen will, ist es bequemer, nach unten zu ziehen als nach oben. Diese Aufgabe wird durch die Rolle, wie beistehend gezeigt, gelöst.

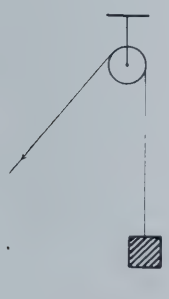


Abb. 122. Feste Rolle.

Bringt man jetzt neben der festen noch eine bewegliche Rolle an (s. Abb. 123), so kann man das Gewicht unter Aufwendung einer Kraft in die Höhe ziehen, die der Hälfte des Gewichts gleichkommt. Auch diese Betrachtung gehört in das Gebiet der Statik, denn es kommt darauf an, die Kraft zu berechnen, die aufgewandt werden muß, um das Gewicht mit gleichbleibender Geschwindigkeit hoch zu ziehen. Diese Kraft ist also dieselbe, die man an der festen Rolle anzubringen hätte, um Gleichgewicht herzustellen. Es wurde in der Kraftlehre gezeigt, daß Gleichgewicht dann eintritt, wenn bei einer Verschiebung auf beiden Seiten gleiche Arbeiten im entgegengesetzten Sinne geleistet werden. Nun ist der Weg, den das zu hebende Gewicht Q

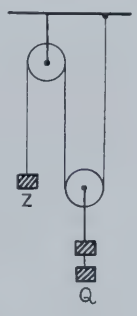


Abb. 123. Feste u. bewegliche Rolle.

bei einer Verschiebung zurücklegt, nur die Hälfte von dem Weg, den das ziehende Gewicht Z zurücklegt. Damit die Arbeiten die gleichen seien, muß also Z halb so groß sein wie Q.

Auf dem gleichen Grundsatz beruhen alle Seilmaschinen oder Flaschenzüge (s. Abb. 124), der Kurbelantrieb, die Zahnradübertragung, schiefe Ebene, Schraube, Hebel, Zange, Messer und Vorrichtungen, die die einzelnen Grundsätze zu gleicher Zeit verwirklichen.

Abb. 124. Differenzialflaschenzug.

Wie verwickelt auch die Maschine gebaut sei, man kann das Kraftübertragungsverhältnis bestimmen, wenn man das Verhältnis der Wege von Kraft und Last beobachtet. Ist das Verhältnis beispielsweise 100:1, so vermögen wir mit der Kraft von einem Pfund einen Zentner zu heben.

Alle Werkzeugmaschinen lassen sich schließlich auf diese Grundsätze zurückführen. Sie haben entweder die Aufgabe, eine Formänderung herbeizuführen ohne Änderung der Masse oder mit Änderung der Masse. Zur ersteren Gruppe von Maschinen gehören z. B. solche zum Biegen, Drücken, Prägen und Schmieden, zur letzteren Art z. B. Drehbänke und Werkzeugmaschinen verschiedenster Art. Eine Drehbank von besonders großem Ausmaß ist wiedergegeben auf Taf. 2. Sie hat die Aufgabe, große Platten zu bearbeiten, entweder nur eben zu hobeln, oder verschiedene Flächen noch einzudrehen und Löcher zu bohren. Die anbei wiedergegebene Maschine gestattet verschiedene Aufgaben zu gleicher Zeit zu bewältigen.

Die Zeitersparnis bei solcher Arbeitsweise ist zum großen Teil ganz außerordentlich. Besonders auffallend ist sie bei den Spinnmaschinen. Z. B. ist nach J. Wolf eine einzige, mit 1000 Spindeln besetzte Spindelbank gleich zu achten einer Spinnerei, in der 12000 bis 15000 Spinnerinnen beschäftigt wären, wenn sie in der Weise spinnen sollten, wie das bereits von Homer beschrieben ist und noch heute in einigen Teilen von Italien und des Orients geschieht. Nun gibt es in Europa gegenwärtig 100 Millionen Spindeln. Diese verrichten also die Arbeit von 1200 bis 1500 Millionen einfacher Spinnerinnen. Da die Gesamtbevölkerung von Europa z. Z. rund 450 Millionen beträgt, so wäre etwa die dreifache Bevölkerung Europas nötig, nur um die Arbeit jener Spindeln zu verrichten. Sie alle hätten das ganze Jahr hindurch nichts weiter zu tun, als zu spinnen. Man ersieht daraus, wie die gesamte Kulturhöhe von solchen Maschinen abhängig ist, da eine Kultur eben nur entstehen kann, wenn Zeit und Kraft erübrigt werden über diejenigen hinaus, die zur Gewinnung des Lebensunterhaltes und der Bekleidung erforderlich sind.

4. Angewandte Kraftlehre.

Hämmer. Fliehkraft. Kreisel.

Während die meisten Arbeitsmaschinen als Anwendung der Gleichgewichtslehre gelten können, gibt es doch auch solche, bei denen die Bewegungslehre in Betracht kommt. Ein einfaches Werkzeug dieser Art ist der Hammer; denn er wirkt durch die

plötzliche Bewegungshemmung beim Aufschlagen. Selbstverständlich ist man schon längst von dem mit der Hand betriebenen Hammer zum Maschinenhammer übergegangen. Das herabfallende Gewicht, das als Hammerbär bezeichnet wird, kann viele Tonnen betragen. Ist das Werkstück zu groß, so daß die Formänderungen nicht rasch genug auf die einzelnen Teile übertragen werden können, so geht man zweckmäßigerweise zu einer stetig wirkenden Presse, sei es Dampf- oder hydraulischen Presse über.

Mancherlei Anwendungen findet die Schwungkraft oder Zentrifugalkraft, so beim Zentrifugalpendel, das, durch irgendeinen Maschinenteil angetrieben, in Umlauf gesetzt wird und bei zu großen Umlaufsgeschwindigkeiten einen Hebel in Bewegung setzt, der den zutretenden Dampf oder das zutretende brennbare Gas abdrosselt, damit die Geschwindigkeit der Maschine geregelt werde.

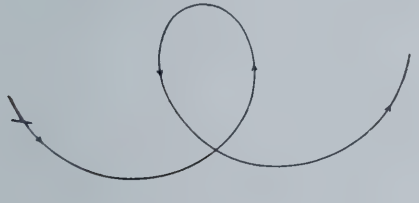


Abb. 125.
Schleifenflug.

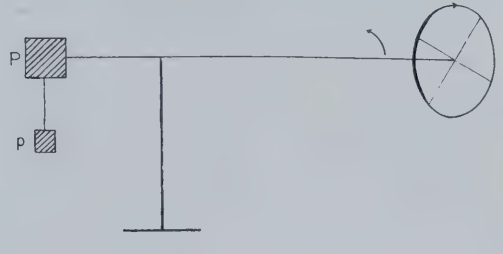


Abb. 126. Drehung der Kreiselebene (Präzession des Kreisels).

Die Schwungkraft spielt auch eine Rolle bei großen Geschwindigkeiten in gekrümmter Bahn, z. B. beim Schleifenflug eines Fliegers. Sie ist gegeben durch das Vielfache der Masse und das Verhältnis des Quadrats der Geschwindigkeit zu dem Krümmungshalbmesser der Bahn. Ist also der Krümmungshalbmesser klein und die Geschwindigkeit ausreichend groß (Abb. 125), so kann die Schwungkraft größer sein als die Schwerkraft. Der Flieger wird dann in der höchsten Lage der Schleife nach oben, d. h. fest auf seinen Sitz gedrückt und könnte auch nicht herausfallen, selbst wenn er nicht festgeschnallt wäre.

Mannigfache Anwendung findet auch der Kreisel. Seine Wirkungsweise wird am leichtesten kenntlich durch folgenden Versuch (s. Abb. 126). Man denke sich einen Kreisel auf eine wagrechte Achse gesetzt und sein Gewicht durch ein Gegengewicht P aufgehoben, so daß er im Gleichgewicht ist. Wenn man jetzt den Kreisel in Umlauf bringt und dann zum Gewicht P noch ein kleines Übergewicht p hinzufügt, so schlägt die Achse nicht nach oben aus, sondern läuft im angedeuteten Sinne um, d. h. der umlaufende Kreisel ist imstande, einer von außen wirkenden Kraft zu widerstehen.

Eine sehr sinnreiche Anwendung dieser Tatsache hat Schlick gegeben, um das Schlingern von Schiffen zu vermindern. Er baute in ein Schiff einen Kreisel von 1 m Durchmesser und 8 Tonnen Gewicht ein und ließ ihn 2000 Umdrehungen in der Minute machen. Bei geeigneter Lagerung der Achse gelang es ihm so, Schwingungen des Schiffes von 10^0 auf den dritten Teil zu verringern.

Eine weitere höchst sinnreiche Anwendung ist der Kreiselkompaß, der die Nord-Südlage nicht mit Zuhilfenahme magnetischer Kräfte, sondern der Kräfte der Erddrehung selbst festzustellen gestattet.

5. Angewandte Wasser- und Luftkraftlehre.

Wasserturm. Schornstein. Talsperre. Wasserräder. Turbinen. Luftschraube. Zentrifuge.

Eine wichtige Angelegenheit ist für jede Stadt die Versorgung der Bewohner mit Wasser. Die alten Römer lösten diese Aufgabe durch Wasserrinnen mit geringem Gefälle, sogenannte Aquädukte. Aber schon die Griechen kannten Druckwasserleitungen in ähnlicher Weise, wie wir sie heute benutzen. Das Gleichgewicht bei zusammenhängenden (kommunizierenden) Röhren lehrt, daß der Wasserspiegel auf beiden Seiten gleich hoch steht, wenn Gleichgewicht eingetreten ist. Aus einer Wasserleitung kann also Wasser nur ausfließen, wenn an irgendeiner anderen Stelle der Leitung sich ein Behälter befindet, der etwas höher liegt, als die Zapfstelle. Will man also auch in höheren Häusern Wasserleitungen benutzen, so braucht man einen ausreichend hohen Wasserturm (Abb. 127). Er enthält ein großes Becken, in das hinein das Wasser aus einer Leitung gepumpt wird, die Quellwasser oder gereinigtes Flußwasser zuführt. Von diesem Behälter führt eine große Röhre in den Boden, die in die einzelnen Straßen weitergeleitet und dann in die Häuser verzweigt wird.

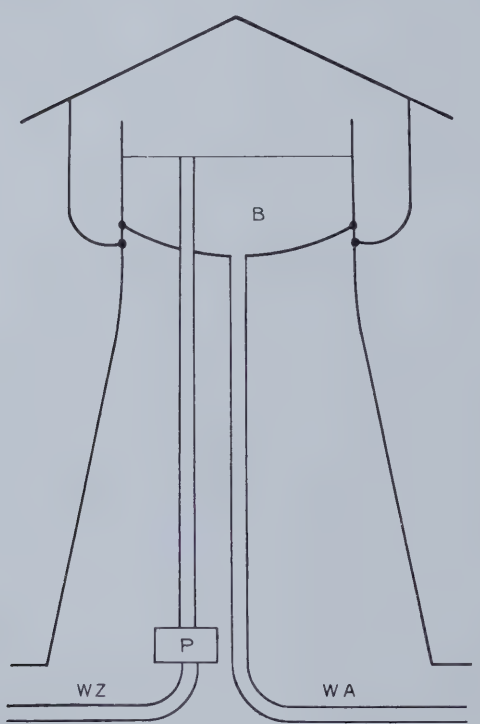


Abb. 127. Anordnung eines Wasserturmes.
WZ = Wasserzuleitung WZ = Wasserableitung
P = Pumpe B = Becken

Das Gesetz vom Gleichgewicht zusammenhängender Röhren kommt auch in Betracht beim Schornstein. Da ist zu beachten, daß bei dem verschiedenen spezifischen Gewicht der Flüssigkeiten und Gase in zusammenhängenden Röhren Gleichgewicht herrscht, wenn das Vielfache aus Höhe und spezifischem Gewicht auf beiden Seiten gleich groß ist. Wenn daher in einem Schornstein eine höhere Temperatur herrscht als in der freien Luft, so ist das spezifische Gewicht innen kleiner als außen, daher herrscht eben nicht Gleichgewicht, sondern die äußere Luft bewirkt einen Überdruck und dieser ist um so größer, je höher der Schornstein ist und je größer der Temperaturunterschied.

Wenn es beim Übergang von der kalten zur warmen Jahreszeit vorkommt, daß

die Lufttemperatur im Freien höher ist als im Schornstein, so wird der Schornstein im umgekehrten Sinne wirken und das Feuer im Herd zum Schrecken der Hausfrau nach außen getrieben. Nur mit Hilfe eines Strohfeuers kann dann Abhilfe geschaffen werden, das man im Zuführungskanal anbringt.

Bei großen Fabrikanlagen muß eine starke Luftzufuhr stetig zur Feuerung erfolgen. Man könnte das natürlich auch durch Ventilatoren erreichen; aber das wäre zu kostspielig, weil sie fortwährend Kraft verbrauchen würden. Je stärker also die Feuerungsanlagen sind, um so größer ist der Bedarf an Zugluft und um so höher müssen die Schornsteine aufgeführt werden, damit der erforderliche Luftzug gewonnen wird.

Eine andere Anwendung des Gleichgewichts der Wasserkräfte bildet die Talsperre.

Die Sperre ist um so wirksamer, je größer die Niederschlagsfläche ist, die ihr zugute kommt. Und dabei besteht der Vorteil, daß die Stärke der Mauer durchaus nicht größer gewählt zu werden braucht, wenn die Wasserfläche größer wird. Denn der Wasserdruck hängt nach den früher dargelegten Gesetzen lediglich von der Höhe ab. Da das spezifische Gewicht des Wassers gleich 1 ist, bedingt eine Wassersäule von 10 m einen Druck von 1 Atmosphäre, d. h. 1 kg auf das Quadratzentimeter. Eine Sperrmauer von 30 m Höhe würde also an ihrem Boden nur einen Druck von 3 Atmosphären auszuhalten haben, ganz gleichgültig, ob der See dahinter eine Fläche von 100 m oder 10 km im Geviert umspannt.

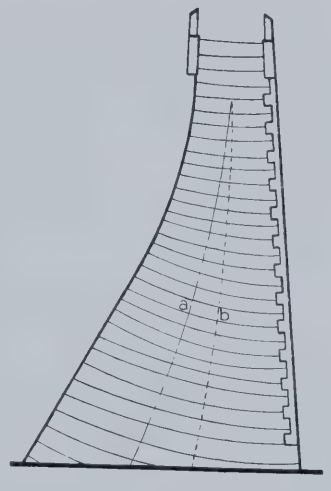


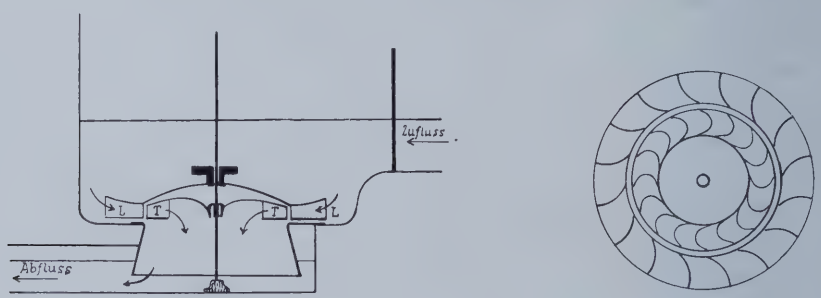
Abb. 128. Querschnitt der Sperrmauer der Remscheider Talsperre nach Intze.
a = Mittellinie des Druckes für volles Talbecken.
b = Mittellinie des Druckes für leeres Talbecken.

Um den zweckmäßigen Bau der Talsperren hat sich in Deutschland besonders Intze verdient gemacht. Vor allem sind schädliche Biegungsspannungen zu vermeiden, und die Mauerschichten sind so zu legen, daß sie überall möglichst genau auf der jeweiligen Summe (Resultante) des Mauerdrucks und des Wasserdrucks senkrecht stehen. Nun hat der auf die nahezu lotrecht stehende Innenwand der Sperrmauer wirkende Druck eine nahezu waagrechte Richtung und nimmt im Verhältnis der Tiefe unter dem Wasserspiegel zu, während der Mauerdruck nicht im gleichen Maße nach unten hin zunimmt, da die Mauer nach unten hin immer dicker wird und somit einen immer größer werdenden tragenden Querschnitt darbietet. Die Richtung des Gesamtdruckes wird daher nach unten hin immer geneigter. Abb. 128 läßt diese Tatsache erkennen in den eingezeichneten Drucklinien bei vollem und leerem Talbecken. Das Bild entstammt einer Veröffentlichung Intzes über die von ihm ausgeführte Talsperre bei Remscheid. Es läßt erkennen, daß die Mauerschichten überall nahezu senkrecht stehen auf den Drucklinien. Diese selbst verlaufen, wie es die Sicherheit gebietet, in der Nähe der Mauermitte.

Eine weitere, von Intze eingeführte Verbesserung bezieht sich auf die Linienführung der Mauer. Die früheren Sperrmauern waren meist in gerader Linie quer über das Tal gespannt. Dadurch mußten in der Mitte gefährliche Biegungsspannungen auftreten. Intze gab daher der Mauer eine gegen den See hin gewölbte Form, wodurch der Wasserdruck auf die Talwände übertragen wird, ganz ähnlich, wie bei einer gewölbten Brücke die Last auf die Unterlage.

Der Baustoff, aus dem die Sperre zu bilden ist, muß elastisch nachgiebig sein, und Intze hat daher besondere Mörtelgemische (Beton) für diese Zwecke angewandt. Tatsächlich ergab sich, daß unter dem Einfluß der wechselnden Stauhöhe der Sperre und der wechselnden Erwärmung durch die Sonne Schwankungen der Mitte der Mauerbrüstung eintraten bis zu $^1/_2$ m, ohne daß deshalb Sprünge in der Mauer zu erkennen waren, die vielmehr federnd nachgab.

Die Gesetze des Ruhedruckes (statischen Druckes) und des Strömungsdruckes (dynamischen Druckes) bei Wasser und Luft finden auch Anwendung bei den ver-



(Obere Hälfte.) (Untere Hälfte.)

Abb. 129. Francis-Turbine nach „Buch der Erfindungen" Bd. II.

schiedenen Vorrichtungen, die dazu dienen, die Energie des Wassers und Windes nutzbar zu machen. Dahin gehören die seit langem üblichen Mühlenräder. Das Wasser wird entweder von oben her auf die Speichen der Mühlenräder geleitet und setzt das Rad durch die einseitige Belastung in Umlauf: oberschlächtige Wasserräder, oder es wird die Geschwindigkeit des strömenden Wassers ausgenutzt, um ein Rad von unten her anzustoßen: unterschlächtige Wasserräder. Der Wirkungsgrad solcher Mühlenräder ist aber sehr begrenzt. Es war daher ein großer Fortschritt, als man in den Turbinen dazu überging, das Wasser so zu leiten, daß es weder verspritzen noch in Wirbel geraten kann, was alles mit großem Energieverlust verbunden ist und nur zu einer gewissen Erwärmung des Wassers führt. Bei der Turbine gibt man daher den Schaufeln eine gebogene Form und sorgt dafür, daß das Wasser den Schaufeln entlang fließt. Wenn das Wasser am ganzen Radumfang zutritt, spricht man von einer Vollturbine. Als Beispiel diene die Francis-Turbine, die anbei in Abb. 129 dargestellt ist. Wie man sieht, wird das Wasser erst dem Leitrad L zugeführt, das feststeht; von da kommt es auf das Turbinenrad T in der Weise, daß das Wasser tangential zu den Schaufeln des Rades sowohl ein- als austritt. Zu diesem Zwecke müssen die Schaufeln in Ruhe einen Winkel miteinander bilden. Die ankommende Geschwindigkeit v zerlegt sich nämlich in die Geschwindigkeit c des umlaufenden Rades und die Geschwindigkeit v', mit der das Wasser tangential in

das Triebrad hineinfließt (Abb. 130). Indem das Wasser gezwungen ist, seine Richtung fortwährend zu ändern, wirkt es durch Schwung- oder Zentrifugalkraft und treibt das Rad der Turbine im Kreise herum. Da selbst in diesem Falle innere Wirbel des Wassers schwer zu vermeiden sind, so stellt die zweckmäßige Formgebung der Turbine hohe Anforderungen an den entwerfenden Ingenieur.

Der Turbinenbau hat in neuerer Zeit außerordentliche Fortschritte gemacht und ist dabei schon zu Einheiten mit einer Leistung von Tausenden von Pferdestärken gelangt.

Ebenso wie strömendes Wasser kann man auch strömende Luft, d. h. den Wind zur Krafterzeugung benutzen. Den alten Windmühlen haben sich neuerdings Windturbinen zur Seite gestellt, die auf einem hohen Gerüst angebracht werden, weil die Windstärke in größeren Höhen im allgemeinen sehr viel stärker ist als unmittelbar über dem Erdboden. Solche Turbinen werden mit Vorliebe zum Pumpen von Wasser benutzt, finden aber auch zur Erzeugung von Licht und Triebkraft Verwendung.

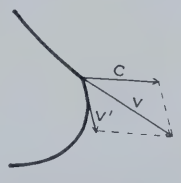


Abb. 130. Zur Feststellung des Winkels zwischen Leit- und Turbinenrad.

Während die Turbinen die Energie bewegten Wassers oder der Luft in Arbeit umsetzen, kann eine Vorrichtung gleicher Art auch umgekehrt zur Umsetzung motorischer Energie in Bewegungsenergie eines Fahrzeuges dienen. Es genügt dann in der Regel, eine einzige gewundene Fläche zu benutzen, nämlich eine Schraube, die als Wasserschraube zum Antrieb von Schiffen dient, als Luftschraube zum Antrieb von Luftschiffen oder Flugzeugen. Auf diese selbst soll noch im folgenden Abschnitt näher eingegangen werden.

Eine Anwendung der Fliehkraft oder Zentrifugalkraft bei Flüssigkeiten bildet die Zentrifuge. Wie schon früher auseinandergesetzt, wird dabei die schwerere Flüssigkeit nach außen geschleudert, während die leichtere innen zurückbleibt. Auf diese Weise gelingt es, den Rahm von der Milch leicht abzutrennen in Milchzentrifugen. Doch gibt es auch Zentrifugen für allerlei andere Zwecke.

6. Luftfahrt.

Freiballon. Sondenballon. Luftschiff. Flugzeug. Segelflug.

In der Lehre vom Gleichgewicht der Flüssigkeiten und Gase wurde auseinandergesetzt, daß die Luft ebenso wie eine Flüssigkeit einem in sie eingetauchten Körper einen Auftrieb erteilt, der dem Gewicht der verdrängten Luft gleichkommt. Diesen Auftrieb verwandten zuerst mit durchschlagendem Erfolg zur Emporhebung eines Körpers in die Luft die Brüder Montgolfier 1783 und wurden dadurch die Begründer der Luftfahrt. Ein unten offener Papierballon wurde durch ein unter ihm angebrachtes Strohfeuer mit heißer Luft gefüllt, die spezifisch leichter ist als die umgebende. Es entsteht ein Auftrieb, der den Ballon mit Korb und Insassen in die Luft befördern kann. Noch im selben Jahre ersetzte Charles die heiße Luft durch Leuchtgas und erreichte dadurch einen sehr viel wirksameren Auftrieb. Noch vorteilhafter ist der Wasserstoff, dessen Dichte nur den 14,5ten Teil derjenigen der Luft beträgt. Freilich muß dann darauf geachtet werden, daß der

Ballon vollständig gasdicht gemacht wird, was man durch einen Firnisüberzug erreichen kann.

Es ist hier nicht der Ort, die ganze Entwicklung des Freiballonwesens zu schildern. Es genüge, die Einrichtung des Freiballons zu kennzeichnen, wie er heute benutzt wird (s. Abb. 131).

Die Höhenlage des Ballons vermag man einerseits durch Abwerfen von Ballast (Sandsäcke), andererseits durch Abblasen von Traggas zu verändern; dadurch ergibt sich zugleich auch die Möglichkeit, die Fahrtrichtung zu verändern. Im allgemeinen dreht der Wind, wenn man nach oben kommt, nach rechts ab. Dadurch kann man in einem gewissen Bereiche ein bestimmtes Ziel ansteuern. Ja es kommt vor, daß in höheren Luftschichten die Windrichtung die umgekehrte ist, wie am Boden, so daß der Luftfahrer unter Umständen zur Abfahrtsstelle zurückkehren kann. Damit bei der Landung der Ballon nicht geschleift werde, wird er teilweise aufgerissen. Zu diesem Zwecke besitzt der Ballon eine Reißbahn, die vor der Abfahrt zugeklebt wird. Der Zug an einer Leine gestattet sie dann aufzureißen.

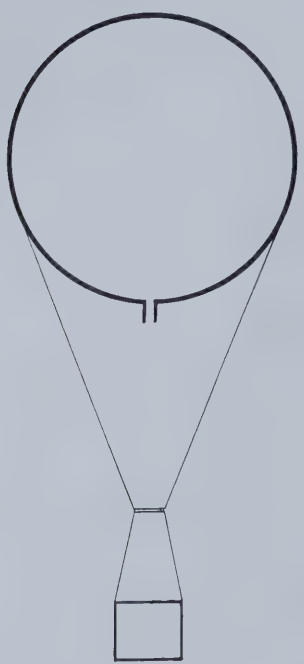


Abb. 131. Freiballon.

Es ist eine wissenschaftlich bedeutungsvolle Angelegenheit, die Verhältnisse der Luft in sehr großen Höhen zu untersuchen, und zwar ihre Zusammensetzung, Temperatur und Feuchtigkeit, ihr elektrisches Verhalten usf. Es dürfte aber für Menschen schwierig sein, in beträchtlich größere als die bereits erreichte Höhe von 10800 m im Freiballon vorzudringen. Man ist daher dazu übergegangen, unbemannte Ballone in die Höhe zu schicken, die selbstaufzeichnende Instrumente mitnehmen. Das dabei festgestellte wichtigste Ergebnis war, daß die Temperaturabnahme in der Luft nur bis zu einer bestimmten Höhe reicht, während darüber hinaus die Temperatur annähernd gleich bleibt. Die Abnahme der Temperatur mit der Höhe erfolgt durch aufsteigende Luft, die sich dort ausdehnen muß, und infolge der dabei geleisteten Arbeit sich abkühlt. Wenn die Temperatur also von einer gewissen Höhe ab nicht weiter abnimmt, so ist das ein Zeichen dafür, daß aufsteigende Strömungen bis dorthin nicht mehr reichen. In solchen Höhen bestehen also nur waagerechte Winde. Der Meteorologe macht daher einen Unterschied zwischen der Troposphäre, das ist der untere Luftraum, in dem sich das abspielt, was wir das Wetter nennen, und der Stratosphäre, das ist die Schicht mit waagerechten Winden, wo keine merkliche Wolkenbildung mehr stattfindet. Die Grenze zwischen beiden Schichten nennt man die obere Umkehr oder obere „Inversion". Sie hat am Pol eine Höhe von etwa 8000 m, über Deutschland 11000 m und am Äquator etwa 18000 m. Die Temperatur, die man in diesen Höhen feststellt, beläuft sich in unseren Breiten auf etwa -54^{0} C, über den Tropen hat man Temperaturen von -84 bis -90^{0} C festgestellt.

Das Ziel, einen Luftballon durch eingebauten Motor mit Luftschraube lenkbar zu machen, wurde bereits in der Mitte des 19. Jahrhunderts angestrebt. Es wurden aber damals nur Geschwindigkeiten von etwa 6 m in der Sekunde erreicht. Die Sachlage änderte sich mit einem Schlage, als es gelang, leichte Motoren von großer Leistungsfähigkeit herzustellen. Ein Luftschiff, das allen Gefahren veränderlicher Winde widerstehen soll, muß genügende Festigkeit oder Starrheit besitzen, und so kam Zeppelin auf den Gedanken, eine Reihe von Ballonzellen in ein festes Gerüst aus möglichst leichtem Baustoff einzubauen. Dazu erwies sich als besonders geeignet Duraluminium, eine Legierung von Aluminium, die dessen Leichtigkeit mit genügender Festigkeit verbindet.

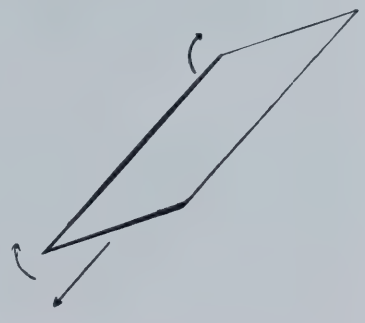


Abb. 132. Fallendes Papierschnitzel.

Heute, nach dreißigjähriger, von vielen Rückschlägen gehemmter aufopferungsvoller Arbeit hat der deutsche Luftschiffbau jenen Grad der Zuverlässigkeit erreicht, der die Eröffnung eines regelmäßigen Weltverkehrs über die Ozeane hinweg ermöglicht.

Die unmittelbare Nachahmung des Vogelflugs blieb lange ein frommer Wunsch. Er hatte sehr viel Rätselhaftes an sich, und diese Rätsel galt es zuerst zu lösen.

Da war es zunächst unverständlich, wie überhaupt eine Flugfläche, z. B. eine ebene Fläche, in der Luft gleiten kann, ohne sich zu überschlagen. Wenn man nämlich

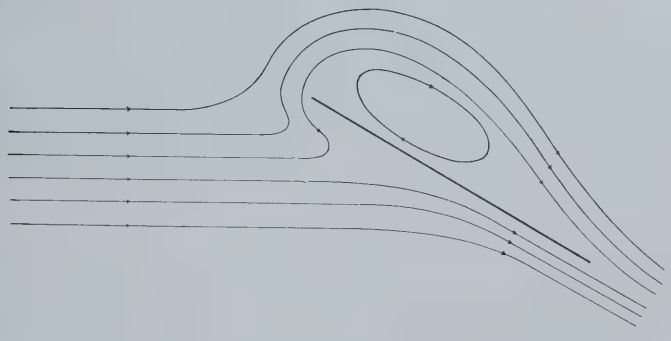


Abb. 133. Stromlinien um eine geneigte ebene Fläche.

ein Papierschnitzel in geneigter Lage losläßt, so fängt es an (s. Abb. 132) sich um seine Längsachse zu drehen. Wie ist das zu verstehen? Die Luft spaltet sich vor der Fläche und strömt zum Teil an der oberen Kante um das Blättchen herum, zum Teil fließt sie nach unten ab. An der vorderen Seite des Blättchens ist die gewölbte Seite der Stromlinien ihm zugekehrt, auf der Rückseite die Hohlseite (s. Abb. 133). Nun läßt sich zeigen, daß auf der gewölbten Seite der Strömungslinien ein Überdruck, auf der hohlen Seite ein Unterdruck entstehen muß. Denn diese Drucke müssen der bei der Bahnkrümmung auftretenden Fliehkraft das Gleichgewicht halten. Im ganzen ergibt sich aber ein Antrieb des Blättchens in Richtung

des Windes. Vor allem zeigt das Bild, daß dieser Antrieb hauptsächlich an der vorderen Kante des Blättchens zutage tritt, in viel geringerem Maße an der hinteren. Die Mittelkraft des Druckes liegt also in der vorderen Hälfte des Blättchens. Jetzt läßt sich der Umlauf des fallenden Blättchens verstehen. Es ist im wesentlichen zwei Käften ausgesetzt (s. Abb. 134), der Kraft des Luftwiderstandes W und der

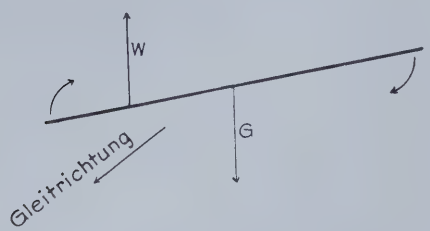


Abb. 134. Drehmoment der Luftkräfte am fallenden Papierschnitzel.

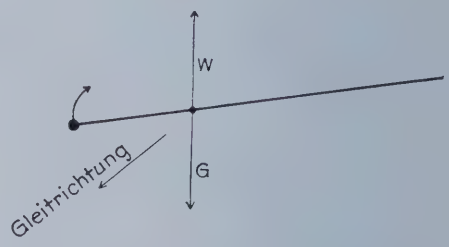


Abb. 135. Gleichgewicht der Kräfte an einem vorn beschwerten, gleitenden Planflegler.

Schwerkraft G, die im Schwerpunkt, also in der Mitte des Blättchens angreift. Unter dem Einfluß dieser beiden, nicht an einem Punkt angreifenden Kräfte kommt die Drehung zustande, die man beobachtet.

Hat man dies einmal erkannt, so ist es leicht, das Umkippen des Blättchens zu vermeiden. Man braucht es bloß an der vorderen Kante so zu beschweren, daß der Schwerpunkt in den Mittelpunkt der Luftwiderstandskraft hineinfällt (s. Abb. 135). Um diese Überlegung zu prüfen, hat Lanchester längliche Glimmerblättchen be-

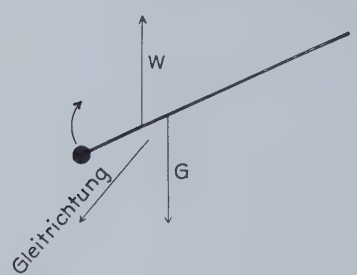


Abb. 136.
Wiederaufrichtendes Drehmoment
eines zu stark geneigten,
gleitenden Planseglers.

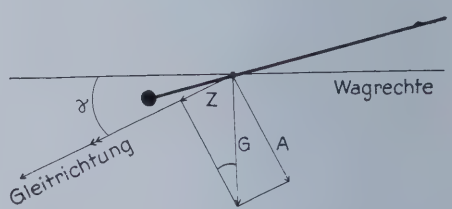


Abb. 137. Der Anteil des Gewichtes in der Gleitrichtung als Luftwiderstand überwindende Zugkraft.
Z = Zugkraft. G = Gewicht. A = Auftrieb.
γ = Gleitwinkel. $Z = \gamma \cdot G$.

nutzt, die er vorn in der Mitte mit einem kleinen Bleigewicht beschwerte. Und jetzt glitt in der Tat das Glimmerblättchen sanft in geneigter Richtung zu Boden. Ja sogar noch mehr. Es zeigte eine große Sicherheit im Fluge gegenüber störenden Kräften. War durch einen Luftzug die vordere Kante ein wenig gehoben worden, so senkte sie sich wieder; und auch das ist leicht zu verstehen. Nimmt man z. B. an, das Blättchen hätte sich zu stark nach vorn geneigt, dann ist der Anblaswinkel des Luftstroms kleiner geworden, und Überlegung und Versuch zeigen in gleicher Weise, daß bei Verkleinerung des Anblaswinkels der Mittelpunkt der Luftkräfte im Blättchen immer mehr nach vorn rückt.

Phot. Luftschiffbau Zeppelin.

„Graf Zeppelin" bei der Landung.

D 2000 (Junkers G 38), das größte deutsche Verkehrsflugzeug.

Do X, das deutsche Flugschiff, auf dem Lande.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

Bei einer zu starken Neigung des Blättchens wird also eine Verteilung der Kräfte auftreten, wie Abb. 136 zeigt, die ein Zurückdrehen des Blättchens in seine alte Lage bedingen. Das Umgekehrte tritt ein, wenn der Neigungswinkel des Blättchens zu gering geworden ist.

Aus allem geht hervor, daß es einen gewissen Gleitwinkel gibt, unter dem in völlig ruhiger Luft das Blättchen gleitend zu Boden kommt. Man nennt diesen Winkel den natürlichen Gleitwinkel. Er wird bestimmt durch die Gleitzahl, d. i. das Verhältnis der in gleicher Zeit lotrecht und wagrecht zurückgelegten Strecke. Ist die Gleitzahl z. B. $^1/_{10}$, so wird das Blättchen auf 10 m wagrechten Flugs 1 m fallen.

Der Winkel, den die Ebene des Blättchens mit dem Gleitwinkel bildet, nennt man den Anstell- oder Stellwinkel. Auch er muß ein bestimmter sein beim Hinabgleiten.

Es ist wichtig, sich über das Gleichgewicht der Kräfte bei diesem Vorgang zu unterrichten. In Abb. 137 bedeutet G das Gewicht des Blättchens, das im Schwerpunkt als Kraft nach unten angreift. Diese Kraft kann man zerlegen in einen Anteil entlang der Gleitrichtung Z und einen Anteil senkrecht dazu. Der Anteil entlang der Gleitrichtung wird aufgehoben durch den Luftwiderstand, während der Anteil A den Auftrieb anzeigt, den die Luft auf das Blättchen ausübt.

Der erste, der mit den Versuchen des Gleitfluges Ernst machte und damit Erfolg hatte, war Otto Lilienthal; nach mancherlei Vorversuchen führte er in den Jahren 1893/94 seine berühmten ersten motorlosen Flüge aus.

Der Geburtstag des Flugzeugs mit Motorantrieb ist der 17. Dezember 1903, an dem es den Gebrüdern Wright gelang, die Absicht von Lilienthal zu verwirklichen. Seitdem hat sich die Fliegekunst — Segel- und Motorflug — in ununterbrochenem Fortschritt entwickelt (Tafel 3).

7. Neuere Wetterkunde.

(Meteorologie.)

Das Wetter ist eine so veränderliche und verwickelte Erscheinung, daß, als man es wissenschaftlich zu bearbeiten begann, man genug zu tun hatte, die auffälligsten Tatsachen zu beobachten und aufzuzeichnen, also den Gang von Luftdruck, Temperatur, Feuchtigkeit, Wind usf. Erst allmählich begann man in der Mitte des letzten Jahrhunderts die physikalischen Gesetze auf die Vorgänge im Luftraum anzuwenden, z. B. v. Bezold und Helmholtz; neuerdings kamen die österreichische und die Bergener Schule hinzu, außerdem noch eine mehr experimentelle Richtung, die besonders durch Assmann und Hergesell betrieben wurde und die darin bestand, durch Sondenballone und hochgelassene Drachen die Vorgänge auch in den höheren Atmosphärenschichten zu untersuchen, ein Verfahren, das, wie im letzten Abschnitt schon gesagt, zu sehr wichtigen Ergebnissen führte.

Besonders lehrreich ist der Entwicklungsgang, den V. Bjerknes bei der Anwendung der physikalischen Theorien auf meteorologische Erscheinungen durchgemacht hat. Er sagte sich, daß wenn die drei Anteile der Luftgeschwindigkeit, zwei waagrechte und ein lotrechter, ferner Druck, Dichte, Temperatur und Feuchtigkeit,

also sieben Größen, überall gegeben wären, daß dann durch Anwendung der Gesetze der Luftkraftlehre und der Wärmekraftlehre, die gerade sieben Bestimmungsgleichungen zur Verfügung stellen, die Änderungen aller dieser Größen sich streng berechnen lassen müßten, und er ging daran, dieses Vorhaben auszuführen.

Man kann dabei zwei Wege einschlagen, entweder einen zeichnerischen oder einen rechnerischen. Der letztere ist neuerdings durch den Mathematiker und Meteorologen Richardson beschritten worden. Bjerknes schlug den zeichnerischen Weg ein.

Wesentlich ist dabei die Darstellung der Strömungsverhältnisse der Luft durch Stromlinien. So zeigen die Abb. 138 und 139 die vereinfachten Strömungslinien um ein Hoch und Tief auf der nördlichen Halbkugel. In das Tief strömt die Luft von allen Seiten ein, aber nicht geradeaus, also nicht auf geraden Fahrstrahlen, sondern wegen der Ablenkung durch die Erdumdrehung auf gekrümmten Linien. Umgekehrt strömt aus dem Hoch die Luft nach allen Seiten in gekrümmten Linien aus.

Abb. 138. Strömungslinien um ein Tief auf der nördlichen Halbkugel nach Bjerknes.

Abb. 139. Strömungslinien um ein Hoch auf der nördlichen Halbkugel nach Bjerknes.

In ähnlicher Weise wurden auch die anderen Veränderlichen dargestellt und es war die Aufgabe, auf zeichnerischem Wege durch Anwendung physikalischer Gleichungen den neuen Zustand zu entwickeln. Es ist klar, daß die Aufgabe außerordentlich zeitraubend ist und Bjerknes äußerte, daß es bereits ein großer Fortschritt wäre, wenn es gelänge, durch die Arbeit eines Jahres das Wetter auch nur auf die Dauer eines Tages streng zu bestimmen. Das Ergebnis war aber bei Bjerknes ebenso wie bei Richardson wenig befriedigend. Es ist dies durch verschiedene Umstände bedingt. Zunächst ist das Netz der Beobachtungsstellen zu weit und die tägliche Zahl der Beobachtungen zu gering, um genügende Unterlagen für eine derartige Rechnung abzugeben. Sodann ist aber selbst in dem kleinen Raum von 1 cbm die Strömung nicht gleichmäßig. Es herrscht, wie man zu sagen pflegt, eine innere Unruhe oder Turbulenz der Luft, und diese bewirkt, daß die tatsächliche Reibung der Luft außerordentlich viel größer ist, als die gewöhnliche Reibung, mit der der Physiker bei wirbelfrei strömender Luft in der Regel zu tun hat.

In Norwegen vor die Aufgabe gestellt, möglichst gute Wettervorhersagen auszugeben, mußte Bjerknes zunächst in der gleichen Weise vorgehen, wie man das bisher gemacht hat, d. h. aus dem annähernd bekannten Ablauf, mit dem die Wetterkarten aufeinander folgen, die Änderung des Wetters vorauszusagen. Ein Fortschritt über die bisherigen Verfahren wurde aber dadurch möglich, daß erstens das norwegische Netz sehr viel dichter angelegt wurde, als das sonst üblich ist, und daß zweitens die zeichnerischen Verfahren, die zu den theoretischen Untersuchungen bisher gedient hatten, nach Möglichkeit ausgenutzt wurden.

Dabei ergab sich, daß stets gewisse Unstetigkeitslinien von ausschlaggebender Bedeutung waren, an denen alle meteorologischen Angaben, wie Wind und Temperatur in kurzen Abständen starke Änderungen erfahren; und zwar waren das Stellen, an denen zwei Luftmassen von verschiedener Temperatur sich mit verschiedener Geschwindigkeit und Richtung aneinander vorbei und übereinander wegschieben.

Eine derartige Unstetigkeitslinie hatte schon Helmholtz bei dem großen Luftaustausch zwischen Pol und Äquator in Betracht gezogen. Es ist an anderer Stelle

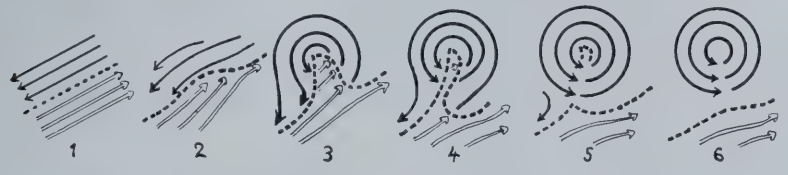


Abb. 140. Entwicklungsgeschichte einer Zyklone nach Bjerknes.

dieses Buches darauf hingewiesen worden, daß der große Umlauf in dem Luftraum der Erde dadurch bedingt ist, daß am Äquator heiße Luft aufsteigt, in der Höhe nach den Polen abfließt und an der Erdoberfläche polare Luft nachsaugt. Auf diese Weise kommt in der Höhe der Südwestpassat und am Boden der Nordostpassat zustande. Helmholtz zeigte nun, daß an einer von der Erde nach Norden zu aufsteigenden Fläche polare und äquatoriale Luft sich in einer Art von Gleichgewicht aneinander vorbeibewegen können, aber dieses Gleichgewicht ist ein schwankendes oder labiles.

An diesen Gedanken knüpfte nun Bjerknes an und bezeichnete jede Unstetigkeitsgrenze, an der sich polare und äquatoriale Luft aneinander vorbeibewegen als die „Polarfront".

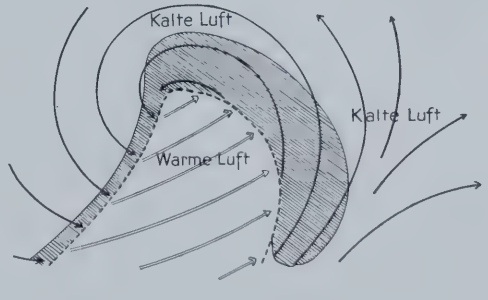


Abb. 141. Zyklone, im Entstehen begriffen, nach V. Bjerknes; die Pfeile mit doppeltem Strich zeigen die Bewegung der warmen Luft, die mit einfachem die der kalten an. Die schraffierte Fläche zeigt das Regengebiet.

Abb. 140 zeigt nun, wie etwa nach Bjerknes das Vorbeiströmen an der Unstetigkeitsgrenze allmählich abgeändert wird und sich dabei eine Zyklone entwickelt. Man sieht, wie sich erst eine Ausbuchtung der Grenze bildet, wie diese Ausbuchtung immer tiefer wird, wobei in dem eintretenden Tief ein warmer Sektor und ein größerer kalter Sektor aneinander grenzen. Allmählich schnürt sich der warme Sektor immer mehr ab, und die warme Luft strömt in den ausgebildeten Zyklonen nach oben. Nach Vorbeistreichen der Zyklone bleibt dann gewöhnlich ein Hochdruckgebiet mit kalter Luft zurück.

Abb. 141 zeigt das dritte Teilbild des vorhergehenden in etwas größerem Maßstab, wobei zugleich der schraffierte Teil diejenige Gegend bezeichnet, wo ein Niederschlag erfolgt, und es ist wichtig sich klar zu machen, wie dieser Niederschlag zustande

kommt. Auf der rechten Seite des Bildes sieht man, wie die warme Luft gegen die kalte anströmt, wobei sie sich nicht einfach mit ihr vermischt, sondern an der kälteren entlang aufsteigt.

Dieser Vorgang ist noch einmal besonders in Abb. 142 dargestellt. Hier verhält sich die warme feuchte Luft genau so, als wenn sie an einem Gebirge aufsteigen müßte. Beim Aufsteigen kühlt sie sich ab, wobei Sättigung der Luft und schließlich

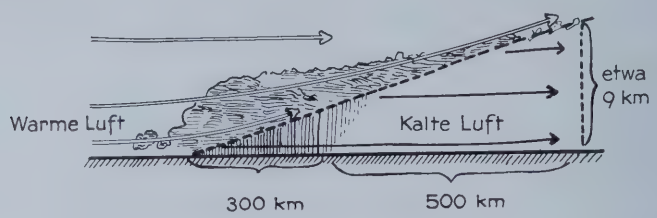


Abb. 134. Lotrechter Schnitt durch die „warme Front" nach J. Bjerknes und H. Solberg.

Regen eintritt. Auch auf der linken Seite der Abb. 142, wo die kalte Luft sich unter die warme schiebt, muß Regen eintreten, da auch hier die warme Luft längs der kalten zum Aufsteigen gezwungen wird. Die gestrichelte Fläche, wo kalte und warme Luft aneinander grenzen, umfaßt diejenigen Gebiete, in denen Regen herrscht und diese Erkenntnis ist selbstverständlich für die Wettervorhersage von grundlegender Bedeutung.

Diese Erkenntnis war nun nicht durchaus neu. Schon der österreichische Meteorologe Schmidt hat im Jahre 1911 darauf hingewiesen, daß durch den Einbruch einer kalten Luftmasse ein Luftkeil entstehen müsse, an dem die warme aufsteigende Luft zum Niederschlag gebracht wird, und er hatte schon in weitgehendem Maße solche Einbrüche von kalter Luft untersucht und auf ihre Bedeutung hingewiesen.

Abb. 135. Zyklonenfamilie nach Bjerknes.

Das Neue an der Bjerknesschen Theorie dürfte sein, daß sie diesen Vorgang mit dem allgemeinen Luftaustausch zwischen Pol und Äquator (allgemeine Zirkulation) als zusammenhängend betrachtet. Des weiteren hat Bjerknes eine vereinfachte Darstellung über den Ablauf solcher Zyklonen gegeben. Es stellte sich nämlich heraus, daß sie immer in Familien zu drei oder vier Gliedern auftreten, wie Abb. 143 zeigt, und er nimmt an, daß sie sich durch eine Welle ausbilden, die sich an der gestörten Polarfront ausbreitet und an der Stelle ihrer größten Ausbuchtung Wirbel erzeugt, die man eben als Zyklonen bezeichnet. Die Beobachtung ergab ferner, daß in der Regel stets vier Luftströme vom Pol ausgehen, die die kalte Luft gegen die Tropen hinführen, und das ganze Strömungsgebilde von vier Zyklonenfamilien zu je drei bis vier Gliedern läuft in 22 Tagen um die Erde herum, so daß durchschnittlich eine Familie in $5^1/_2$ Tagen vorbei ist, wonach vorübergehend Hochdruck und klares Wetter eintritt. Dies die allgemeine Regel, die natürlich

nur für diejenigen Orte gilt, durch die die Polarfront hindurchgeht. Wo die Polarfront aber im einzelnen liegt, ist eine Frage für sich. Wie man weiß, gibt es in Deutschland Sommer, z. B. Sommer 1911, in denen monatelang klares Wetter herrscht. In diesem Falle mußte also für längere Zeit die Polarfront weit nördlich verlaufen.

Selbstverständlich hat auch die Lage der Gebirge einen ausschlaggebenden Einfluß darauf, wie weit der kalte Luftstrom sich ergießen kann. So schützen die Alpen in der Regel die südlich von ihnen liegenden Länder gegen den Zustrom kalter Luft. Im Gegensatz dazu verlaufen in Amerika die Gebirge mehr in nord-südlicher Richtung, so daß sich dort die Auswirkungen der Luftströme voll entfalten können. So kommt es, daß Nordamerika besonders stark von Wetteränderungen und heftigen Wirbelstürmen heimgesucht ist, die durch die Zyklonen veranlaßt werden.

Die Folge des neuen Verfahrens der Wettervorhersage hat sich in Norwegen derartig ausgewirkt, daß sich die Schiffer dort unbedingt an sie halten und gegebenenfalls bei schönem Wetter zu Haus bleiben, wenn Sturm vorhergesagt wird, oder bei schlechtem, aber erträglichen Wetter ausfahren, wenn bald hinterher schönes Wetter angesagt ist. Der volkswirtschaftliche Gewinn liegt auf der Hand, da bei unvorhergesehenem stürmischem Wetter der Verlust des Fischergerätes droht, wenn nicht auch der von Schiffen und Mannschaften.

Auch in Deutschland fängt man allmählich an, die Wettervorhersage nach diesem neuen Verfahren durchzuführen. Von einem engeren Beobachtungsnetz und rascher Nachrichtenübermittlung wäre daher auch in Deutschland viel Nutzen, besonders für die Landwirtschaft zu erwarten. In neuerer Zeit werden die Vorhersagen hauptsächlich auf drahtlosem Wege übermittelt, ein lehrreiches Beispiel dafür, wie der Fortschritt auf einem Gebiete den auf anderem Gebiete nach sich ziehen kann.

Neuerdings ist durch Weickmann in Leipzig eine andere merkwürdige Gesetzmäßigkeit entdeckt worden. Er trug den Verlauf des Luftdruckes für ein Jahr auf einer langen Linie auf, pauste die Linie durch, klappte den Streifen um und legte ihn über den Ausgangsstreifen. Beim Verschieben der Pause ergab sich dann, daß an einer Stelle die beiden Kurven zur Deckung kamen, d. h. bezüglich dieses Punktes mußte der Verlauf der Drucklinien auf beiden Seiten spiegelbildlich (symmetrisch) sein. Kennt man also den Symmetriepunkt, so kann man aus einem barometrischen Tief zwei Monate vor dem Symmetriepunkt auf ein ebensolches Tief zwei Monate nach dem Symmetriepunkt schließen und da der Luftdruck eine wesentliche Rolle für die Wettervorhersage spielt, so läßt sich auf diesem Wege eine Wettervorhersage auf lange Sicht erwarten. Bei weiterer Verfolgung dieser Verhältnisse zeigte es sich freilich, daß allerlei Zusammendrängungen der Druckwellen eintreten können, so daß man noch viel Arbeit für die Untersuchung dieser Dinge wird aufwenden müssen, bevor man mit größerer Sicherheit Schlüsse ziehen kann. Weickmann vermutet, wie das auch schon von dem österreichischen Meteorologen Defant behauptet wurde, daß beim Übergang der Luft vom Meere nach dem Festland eine Störung eintritt und die Luft über der Festlandsmasse in eine Art von stehenden Schwingungen gerät, wodurch die Druckwellen zustande kommen.

8. Aus der angewandten Schallehre.

Hörsamkeit der Räume, Kondensatormikrophon, Blatthaller.

Nur zwei Gegenstände sollen hier besprochen werden, von denen der eine eine alte, aber immer noch nicht genügend beachtete Erfahrung behandelt, der andere aber besonders neuerdings von Wichtigkeit geworden ist.

Noch immer gibt es Räume von schlechter Hörsamkeit (Akustik), obgleich man genau weiß, wodurch sie bedingt ist. Sie entsteht durch die Zurückwerfung des Schalles an den Wänden des Raumes. Nun war im Abschnitt über Physik mitgeteilt worden, daß das Ohr zwei kurze Schläge, die innerhalb $^1/_{500}$ Sek. aufeinander folgen, noch getrennt wahrnehmen kann; der Nachhall dürfte also noch nicht einmal in die Mitte dieses Zeitraums fallen, d. h. nicht nach $^1/_{1000}$ Sek. eintreffen, was bei einer mittleren Schallgeschwindigkeit von 340 m/sec einem Umweg von 34 cm entspricht. So hohe Anforderungen können natürlich von keinem Saal erfüllt werden. Im allgemeinen begnügt man sich mit der Forderung, daß der Umweg nicht mehr als 3 bis höchstens 11 m betragen dürfe. Treten noch größere Wegunterschiede auf, so überdeckt sich der zurückgeworfene Schall in störender Weise mit dem unmittelbar ankommenden, der Klang wird vollständig verwischt, und man spricht dann von einem starken Nachhallen des Raumes.

Die Mittel, diese ungünstige Wirkung zu vermeiden, sind sehr einfach. Man hat vor allem die starke Zurückwerfung an den Wänden zu vermeiden. Eine beputzte steinerne Wand wirft den Schall außerordentlich stark zurück. Viel besser wirkt eine Holzverkleidung. Die einzelnen Teile der Wand kommen dabei in Mitschwingung und vernichten Schallenergie. Stoffbekleidungen, Vorhänge, Teppiche verschlucken, Säulen und dgl. zerstreuen den Schall sehr stark.

Der Architekt kann von vornherein den Saal so anlegen, daß der Schall nicht regelmäßige Zurückwerfungen erleidet. Zu diesem Behufe sind lang ausgestreckte, glatte Wände zu vermeiden. Die Wände sind zu durchbrechen in Form von Nischen; bei einem höheren Saal wirkt ein ausgespannter Balkon ausgezeichnet. Am besten ist bekanntlich die Hörsamkeit in einem Theater, wo die verschiedenen Ränge eine sehr starke Schallzerstreuung bewirken.

Ein Saal, der leer eine schlechte Hörsamkeit aufweist, kann vorzüglich wirken, wenn er mit Menschen angefüllt ist. Jeder einzelne zerstreut dann den Schall unregelmäßig; zum Teil verschlucken die Kleider den Schall.

Nach jenen Grundsätzen kann man auch einen Saal verbessern, der ursprünglich eine schlechte Hörsamkeit besitzt, indem man an ausgedehnten ebenen Stellen, z. B. der Decke, gewölbte Wollstoffe anbringt und an den Wänden Tuchverspannungen. Zu hohe Säle können dadurch verbessert werden, daß man eine tiefere Decke einspannt, wodurch die Schallumwege verkürzt werden.

Eine andere Anwendung der Lehre vom Schall betrifft die neuerdings besonders wichtig gewordene Wiedergabe von Klängen durch Fernsprecher und ähnliche Vorrichtungen. Hier kommt es darauf an, daß die Sprache in allen ihren Feinheiten wieder erkenntlich ist. Im Abschnitt A. I. 19 wurde bereits auseinandergesetzt, daß die Klangfarbe eines Vokals dadurch zustande kommt, daß über den Grundton gewisse Obertöne gelagert sind, von denen einige besonders kennzeichnend für den

Vokal sind, die man als Formanten bezeichnet. Durch neuere Untersuchungen wurde festgestellt, daß zu einer guten Sprachwiedergabe alle Töne zwischen 50 Schwingungen in der Sekunde bis 5000 in einer Sekunde gleichmäßig wiederzugeben sind. Für die Konsonanten s und f kommen sogar noch höhere Schwingungszahlen in Betracht. Nun hat die Mikrophonplatte, die den Schall aufnehmen soll, einen oder mehrere Eigentöne, die besonders stark ansprechen, wodurch eine „Verzerrung" des Klanges eintritt.

Neuerdings ist von Riegger ein Kondensatormikrophon gebaut worden, dessen Schall-aufnehmender Teil aus einem Aluminiumblättchen besteht, mit einer Dicke von nur dem 2000sten Teil eines Millimeters. Ein solches Blättchen hat keine merklichen Eigenschwingungen. Zu seinem Schutze ist ihm eine mit Schlitzen versehene Metallplatte vorgebaut. Das Blättchen selbst bildet den einen Teil eines Kondensators, während der andere Teil in 2 mm Abstand aus einer starren Rückwand besteht, die das Mikrophon abschließt. Die beiden Platten sind elektrisch geladen und bei der Abstandsänderung entstehen Schwankungen der „Kapazität" (s. A. I. 12), die auf andere elektrische Apparate übertragen werden. Abb. 144 zeigt den Unterschied in der Feinheit der Klangwiedergabe durch ein Posttelephon und ein Kondensatormikrophon. In diesen Kurven sind die wagrechten Strecken der Zeit verhältig, die Ausschläge den Schallstärken, bzw. den durch sie veranlaßten elektrischen Schwingungen. Man sieht daß das Kondensatormikrophon sehr viele Feinheiten enthält, die beim Postmikrophon fehlen. Das hindert zwar nicht, daß die meisten Vokale an sich verstanden werden, aber die persönlichen Feinheiten verschwinden, derartig, daß bei dem Kondensatormikrophon die Stimme des Sprechenden besser wiedererkannt werden kann.

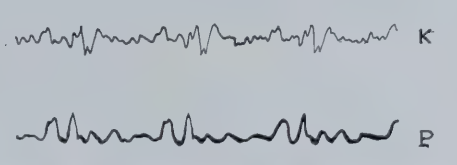


Abb. 144. Schwingungen eines Kondensatormikrophons (K) und eines Posttelephons (P) beim Vokal A nach Trendelenburg.

In ähnlicher Weise verändern auch angeschlossene Schalltrichter die Klangfarbe, wie sie bei Phonographen und Telephonlautsprechern benutzt werden. Zum Teil schwingt der Trichter selbst mit, zum Teil die von ihm eingeschlossene Luftsäule. So kommt es, daß viele solcher Lautsprecher teils einen etwas blechernen, teils einen dumpfen oder schrillen Klang haben. Neuerdings ersetzt man das Blech durch Hartgummi oder Holz und gibt der Luftsäule einen sich allmählich erweiternden Querschnitt, so daß die genannten Mängel erheblich herabgemindert werden.

9. Angewandte Wärmekraftlehre.

Dampfmaschine. Dampf- und Gasturbine. Kältemaschine.

Keine Erfindung hat wohl in das menschliche Leben so tief eingegriffen, wie die der Dampfmaschine, da sie es ermöglichte, die in der Erde in Form von Kohlen aufgespeicherten Energievorräte in einem bisher ungekannten Ausmaß nutzbar zu machen.

Wenn man aber vergleicht, wieviel von der verfügbaren Energie bei der ersten

Dampfmaschine in Arbeit umgesetzt worden ist, gegenüber der heutigen Dampfmaschine, so ergibt sich ein gewaltiger Unterschied.

Machen wir uns zunächst klar, worin der Arbeitsvorgang der Dampfmaschine besteht. Da wird (s. Abb. 145) das Wasser in dem Kessel in hoch gespannten Dampf verwandelt. Der Dampf strömt in einen Zylinder ein und treibt den Kolben an. Beim Rückgang wird der Dampf wieder hinausgeschoben und in den Verdichter oder Kondensator geführt. Ein Schieber, oder Ventile sorgen dafür, daß der Dampf bald auf der einen Seite, bald auf der anderen Seite des Kolbens einströmen kann. Bei diesem Vorgang fällt Wärme von der Temperaturhöhe des Kessels T_1 (in absolutem Maß) herab zur Temperaturhöhe des Verdichters oder Kondensators T_2; aber von dort kommt die Wärmemenge Q_1, während hier nur die Wärmemenge Q_2 abgegeben wird. Nur der Unterschied $Q_1 - Q_2 = Q$ wird in Arbeit umgesetzt. Es geht daraus hervor, daß stets nur ein Teil der dem Kessel entzogenen Wärme in Arbeit umgesetzt werden kann.

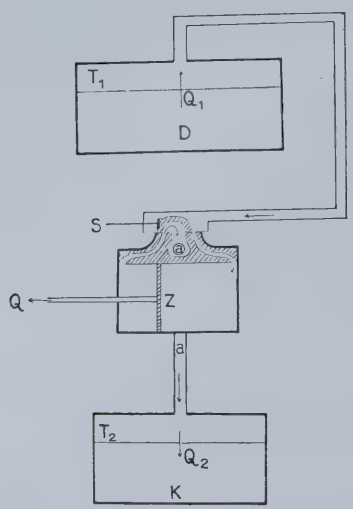


Abb. 145. Weg des Dampfes und der Wärme bei der Dampfmaschine. D = Dampfkessel. S = Schieber. Z = Zylinder. K = Kondensator. T_1 = absolute Temperatur im Kessel. Q_1 = aufgenommene Wärme. Q = in Arbeit verwandelte Wärme. T_2 = absolute Temperatur im Kondensator. Q_2 = an den Kondensator abgegebene Wärme.

Ausschlaggebend für die Verwandlung eines möglichst großen Anteiles der verbrauchten Wärme in Arbeit war, die Kesseltemperatur möglichst hoch, die Kühlertemperatur möglichst tief zu wählen.

Tatsächlich nahm die Entwicklung diesen Weg, indem man Kessel für die Erzeugung immer höherer Temperaturen herzustellen lernte, was das gleiche bedeutet, wie Kessel, die immer größere Drucke aushielten. Denn bei zunehmender Temperatur nimmt auch der Dampfdruck im Kessel zu; während er bei 100° beispielsweise 1 Atm. beträgt, beläuft er sich bei 197° auf 15 Atm. Höher als bis 15 Atm. zu gehen, trug man lange Bedenken wegen der Explosionsgefahr. Erst ganz neuerdings hat der deutsche Ingenieur Wilhelm Schmidt gezeigt, daß man sogar bis zu 60 Atm. hinaufgehen kann, was einer Kesseltemperatur von 276° C entspricht. Man muß dann nur ausreichend enge Kessel verwenden, d. h. Röhren mit genügender Wandstärke und von großer Zahl.

Daneben schritt man dazu, den Dampf außerhalb des Kessels noch zu überhitzen. Freilich wirkt diese Maßnahme weniger im Sinne des Satzes vom Wärmewirkungsgrad als dadurch, daß sich der Dampf in dem Zylinder nicht verdichtet, denn jede solche Verdichtung ist mit einer Abnahme des Druckweges und der Arbeit verbunden. Der überhitzte Dampf hat ein geringeres Wärmeleitvermögen als der nasse Dampf und kann sich infolgedessen auch weniger leicht verdichten.

Während so die Temperatur des Kessels immer mehr gesteigert wurde, suchte man die Temperatur des Kühlers immer tiefer zu wählen; aber es ist schwer mit

Leitungswasser auf eine tiefere Betriebstemperatur als etwa 50° C zu kommen, was einem Gegendruck von etwa $^1/_8$ Atm. entspricht.

Wilhelm Schmidt verwandte bei seinen Hochdruckmaschinen schließlich Überhitzungen von über 450° C. Bedenkt man aber, daß bei der Verbrennung der Steinkohle und ihrer Gase Temperaturen von 1500° bis 1800° C entstehen, so wird klar, daß man ein Temperaturgefälle von über 1000° immer noch verliert. Daraus erhellt, wieviel man gewinnen würde, wenn es gelänge, den Brennstoff unmittelbar in den Zylinder selbst einzuleiten und dort zu verbrennen. Dieser Weg ist in der Tat zum erstenmal bei den Gaskraftmaschinen (Gasmotoren) beschritten worden, einem Gebiete, auf dem besonders der deutsche Ingenieur Otto bahnbrechend gewirkt hat.

Beim Gasmotor wird im ersten Arbeitsgang ein Gemisch von Gas und Luft in den Zylinder eingesogen, das im zweiten Arbeitsgang zusammengedrückt wird; beim dritten Arbeitsgang wird das Gemisch am besten durch den Funken eines elektrischen Zünders zur Explosion gebracht, wobei der Kolben unter mächtigem Druck angetrieben wird und Arbeit leistet; beim vierten und letzten Arbeitsgang wird endlich das verbrauchte Gemisch an die freie Luft hinausgestoßen. Darauf beginnt der Kreislauf von neuem. In der Tat erreichte man auf diesem Wege einen wesentlich höheren Wirkungsgrad als mit den Dampfmaschinen.

Statt des Leuchtgases kann man auch Benzin, Benzol oder Alkohol und neuerdings Schweröl in fein verteiltem Zustande zugleich mit der Luft in den Zylinder eintreten lassen und das Gemisch dann durch den Funken zur Explosion bringen. Solche Maschinen werden mit Vorliebe bei Kraftfahrzeugen und Luftfahrzeugen verwendet.

Ihre höchste Ausbildung erhielt diese Art von Verbrennungsmaschinen durch den deutschen Ingenieur Diesel, der sich seit 1893 bestrebte, eine Anordnung zu treffen, den Carnotschen Kreislauf nach Möglichkeit nachzuahmen. Zu diesem Zwecke mußte allein durch die Zusammendrückungswärme die Verbrennungstemperatur erzielt werden, und dann war dafür zu sorgen, daß der Hauptarbeitsgang bei möglichst gleichbleibender Temperatur erfolgte. Das geschieht dadurch, daß der Brennstoff erst nach und nach während des Arbeitsganges zugeführt wird, so daß immer neue Brennstoffmengen zur Verbrennung gebracht werden. Auf diese Weise ist es gelungen, den höchsten Wirkungsgrad zu erreichen.

Wie diese Entwicklung gewirkt hat, kann man am besten aus den folgenden Angaben ersehen. Während die ersten Dampfmaschinen zu Beginn des 18. Jahrhunderts nur einen Wirkungsgrad von 0,3 v. H. besaßen, erreichte James Watt 3 v. H. Im Jahre 1860 erzielte man 6 v. H., 1900 schon 15 v. H.; im günstigsten Fall bei Heißdampfmaschinen 18 v. H. Die Schmidtsche Versuchsmaschine, die allerdings noch nicht allgemein in die Technik eingedrungen ist, erreicht einen Wirkungsgrad von 29 v. H., während die besten Dieselmaschinen einen solchen bis 35 v. H. erzielen. Das ist ungefähr der günstigste Wirkungsgrad, der bei Tieren in Umsetzung der durch die Ernährung aufgenommenen Energie erreicht wird.

Neuerdings ist man dazu übergegangen, die Kraft des gespannten Dampfes oder verbrannter Gase zum Antrieb von Dampfturbinen oder Gasturbinen zu verwenden. Solche Turbinen haben den großen Vorteil der Vermeidung hin- und

hergehender Massen, der Platzersparnis und der leichten Ingangsetzung. Bei der „Turbodynamo" treibt die Dampfturbine eine auf gleicher Achse sitzende Dynamomaschine unmittelbar an.

Die Kältemaschine ist im gewissen Sinn die Umkehrung der Wärmekraftmaschine und wurde schon im Abschnitt A. I. 10 dieses Bandes besprochen. Sie wird mit Vorteil für Kühlanlagen benutzt, indem man abgekühlte Flüssigkeit durch Röhren hindurchschickt, die in dem zu kühlenden Raume entlang laufen. Eine andere Verwendungsweise bildet die Erzeugung von künstlichem Eis. Zu diesem Zwecke leitet man die Kühlröhren in Schlangenform durch einen großen Bottich, der mit Salzlösung gefüllt ist. Die Beifügung von Salz zum Wasser des Bottichs hat den Zweck, es am Gefrieren zu verhindern. In diesen Bottich taucht man dann mit salzfreiem Wasser gefüllte Blechbehälter ein, in denen es gefriert. Später werden die Behälter wieder herausgezogen, kurze Zeit in warmes Wasser eingetaucht, wodurch sich das Eis vom Rande löst, worauf eine Kippvorrichtung die Eisblöcke herausbefördert.

10. Angewandte Lehre vom Licht.

Augenspiegel. Photometer. Fernrohr. Entfernungsmesser. Mikroskop. Ultramikroskop. Lichtbildnerei (Photographie).

Eine für die ganze Menschheit segensreiche Erfindung auf dem Gebiete des Lichtes war die des Augenspiegels durch Helmholtz. Ohne Hilfsmittel kann man durch die Pupille eines fremden Auges nicht in dessen Inneres hineinblicken. Der Betrachter schattet ja selbst ein helles Licht ab, das das Augeninnere beleuchten könnte. Helmholtz benutzte daher einen durchsichtigen Spiegel, der das Licht einer Lampe in das Auge wirft, während zu gleicher Zeit der Beobachter durch den Spiegel hindurchblickt. Die einfachste, heute benutzte Form ist die in Abb. 146 angegebene. Ein mit Metallbelag versehener Hohlspiegel wirft das Licht in das Innere des zu beobachtenden Auges, während eine kleine Öffnung in der Mitte des Spiegels die Durchsicht gestattet. In dem einfachsten Fall, daß beide Augen, die des Beobachters und des Betrachteten auf Unendlich eingestellt sind, verlassen die Lichtstrahlen, die von der betrachteten Netzhaut ausgehen, das Auge parallel und werden auf der Netzhaut des Beobachters wieder vereinigt, wo sie ein Bild jener Netzhaut erzeugen. Weicht das betrachtete Auge von der Einstellung auf Unendlich ab, so können vor die Öffnung des Augenspiegels geschaltete Linsen die Abweichung aufheben.

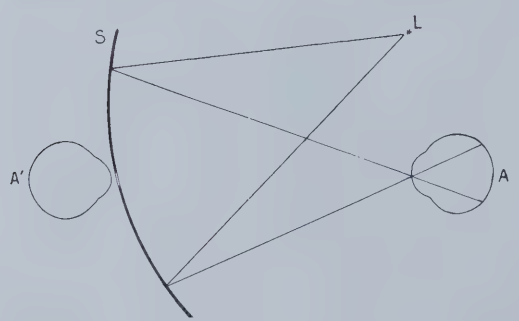


Abb. 146. Augenspiegel.
L = Lichtquelle. S = Spiegel. A = das beobachtete Auge. A' = das beobachtende Auge.

Die mit am meisten bekannte Anwendung der Gesetze der Lichtbrechung dürfte das Fernrohr sein. Die einfachste Form hat ihm Kepler im Jahre 1611 gegeben.

Eine erste Linse (s. Abb. 147), die gegen den fernen Gegenstand hin gerichtet ist, das Objektiv, entwirft ein wirkliches Bild von ihm. Dieses Bild wird durch eine zweite Linse betrachtet, die dem Auge zugekehrt ist und als einfache Lupe oder Vergrößerungsglas dient. Da die erste Linse das Bild umkehrt, während die zweite Linse keine Umkehr bewirkt, erscheint der Gegenstand im ganzen umgekehrt, ein Nachteil, der für astronomische Zwecke nichts ausmacht.

In Wirklichkeit benutzt man im allgemeinen nicht einfache, sondern zusammengesetzte Linsen, die die Aufgabe haben, die Fehler der einfachen Linse, nämlich mangelnde Strahlenvereinigung und Farbenvereinigung u. a. zu vermeiden.

Unter der Vergrößerung des Fernrohres versteht man das Verhältnis des Gesichtswinkels, unter dem ein Gegenstand im Fernrohr erscheint, zu dem, der sich dem unbewaffneten Auge darbietet. Wovon die Vergrößerung in erster Linie abhängt, erkennt man am einfachsten, wenn man annimmt, daß das beobachtende Auge auf Unendlich eingestellt sei, so daß der Abstand des Okulars von dem durch das Objektiv entworfenen Bilde gleich der Brennweite des Okulars wird. In diesem Falle wird die Vergrößerung durch das Verhältnis der Brennweite des Objektivs zur Brennweite des Okulars bestimmt. Will man also starke Vergrößerungen benutzen, so muß man Objektive von großer Brennweite verwenden. Das ist der Grund, weshalb die stark vergrößernden astronomischen Fernrohre so außerordentlich lang sind.

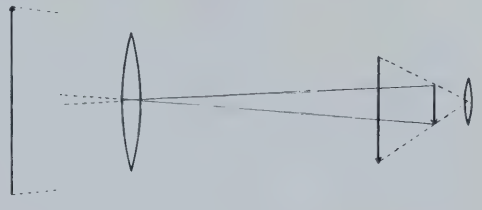


Abb. 147. Keplers oder astronomisches Fernrohr.

Die starken Vergrößerungen haben einen unmittelbaren Zweck bei denjenigen Himmelskörpern, die eine ausgedehnte Fläche darbieten, wie der Mond und die Planeten. Die Vergrößerung genügt dagegen nicht, um auch nur die nächsten Fixsterne flächenhaft erscheinen zu lassen. Aber für die Beobachtung von Fixsternen bieten die großen Fernrohre noch einen anderen Vorteil. Die scheinbare Helligkeit der Fixsterne wird nämlich in demselben Maße vergrößert, wie die Fläche des Objektivs größer ist als der Querschnitt der Pupille. Nimmt man also etwa ein Objektiv von 1 m Durchmesser und vergleicht es mit dem Durchmesser der Pupille von etwa 5 mm, so ist das Verhältnis der Durchmesser 200:1, das Verhältnis der Flächen aber 40000:1. Benutzt man statt des Auges die photographische Platte, so kann diese beliebig lange belichtet werden und dadurch Sterne sichtbar machen, die man selbst mit dem besten Fernrohr nicht sehen würde.

Für die Beobachtung irdischer Gegenstände ist es durchaus erforderlich, daß das Bild aufrecht erscheint. Am einfachsten wird diese Aufgabe gelöst durch das holländische (1608) oder Galileische Fernrohr. Galilei stellte hinter das Objektiv (s. Abb. 148), bevor das reelle Bild entworfen wird, eine Zerstreuungslinse in den Weg, die die Wirkung hat, die Strahlen zu zerstreuen und so ein aufrechtes, aber scheinbares Bild zustande kommen zu lassen. Dieses Fernrohr wird gewöhnlich als Doppelfernrohr bei Operngläsern benutzt, ist aber nur für verhältnismäßig kleine Vergrößerungen verwendbar.

Starke Vergrößerungen erreicht man mit dem terrestrischen Fernrohr, bei dem die Wiederaufrichtung des Bildes durch eine zweite Linse erreicht wird; deren Bild wird dann durch das Okular als Lupe betrachtet. Auf dieses Fernrohr brauchen wir nicht genauer einzugehen, da es neuerdings durch das Prismenfernrohr fast vollständig verdrängt ist.

Bei dem Prismenfernrohr wird die Wiederaufrichtung des Bildes durch eine Zusammenstellung von Spiegeln erzeugt. Die Zeichnung in Abb. 149 lehrt, daß,

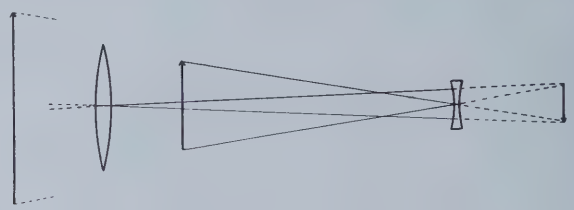


Abb. 148. Holländisches oder Galileisches Fernrohr.

wenn man einen Punkt P an zwei aufeinander senkrechten Spiegeln S_1 und S_2 spiegelt, ein Bildpunkt P'' erhalten wird, der mit P und dem Schnittpunkt S der beiden Spiegel auf einer Geraden liegt, wobei $PS = SP''$ wird. Sucht man nach dem gleichen Verfahren das Spiegelbild Q'' eines zweiten Punktes Q an den beiden Spiegeln, so erkennt man, daß das Spiegelbild P''Q'' der Strecke PQ gegenüber dieser umgekehrt erscheint. Als rechtwinkligen Doppelspiegel benutzt man am besten ein vollständig zurückwerfendes (totalreflektierendes) Prisma. Zwei solcher geeignet gestellten Prismen vermögen also die Aufgabe zu lösen, das Bild sowohl von oben nach unten, als von rechts nach links, also vollständig umzukehren. Die Anordnung ist aus Abb. 150 ersichtlich. Fernrohre dieser Art wurden bereits von Porro anfangs des 19. Jahrh. gebaut, waren aber in Vergessenheit geraten. Auch war es ein Nachteil, daß die damaligen Gläser das Licht zu stark verschluckten, ein Fehler, der durch Auffindung weißer Glasschmelzen beseitigt wurde. So ist das Prismenfernrohr gegen Ende des letzten Jahrhunderts zum zweitenmal von Abbé erfunden worden und wird ebenfalls mit Vorliebe als Doppelfernrohr benutzt. Dabei tritt noch ein neuer Vorteil hinzu, auf den Abbé aufmerksam gemacht hat. Eine geeignete Anbringung der Spiegel kann bewirken, daß die Achsen der Objektive einen größeren Abstand erhalten als die der Augenachsen, d. h. es wird dadurch eine Wirkung erzielt, als ob unsere natürlichen Augen in einen größeren Abstand voneinander gerückt wären. Nun wird aber gerade durch das Sehen mit zwei Augen die räumliche oder stereoskopische Wirkung erzielt. Durch das Auseinanderrücken der Objektive wird daher der räumliche Eindruck bedeutend erhöht.

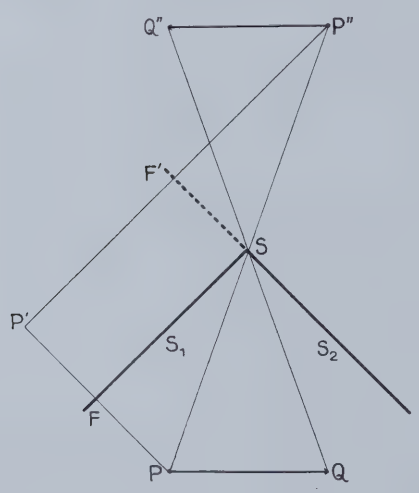


Abb. 149. Spiegelung an zwei aufeinander senkrechten Spiegeln.

Der Gedanke lag nahe, diese Wirkung zum Bau eines Entfernungsmessers zu benutzen. Nach einem Vorschlag von de Grousillier wurden solche Fernrohre von der Firma Zeiß hergestellt. Dabei werden die Achsen der Objektivlinsen über 1 m auseinandergerückt, so daß die räumliche Wirkung außerordentlich erhöht wird. Betrachtet man nun mit einem solchen Doppelfernrohr eine Allee mit Pappeln, so kann man ganz deutlich wahrnehmen, an welchem Baum der Allee etwa eine Person steht. Nun denke man sich die Allee abgebildet auf zwei photographischen Platten, die in der Brennebene der beiden Objektive liegen, so wird man, durch das Fernrohr blickend, die Allee in voller plastischer Wirkung zu sehen glauben, die davon herrührt, daß die mittels der beiden Objektivlinsen aufgenommenen Lichtbilder infolge des Achsenabstandes sich nicht vollkommen decken. Je näher ein Punkt (Baum) gelegen ist, desto mehr weichen die beiden ihm entsprechenden Bildpunkte in ihrer Lage auf den beiden Platten untereinander ab. Wenn bei jedem Baum eine Zahl steht, die die Entfernung angibt, so kann man auf solche Weise die Entfernung eines Gegenstandes messen. Natürlich ist es nun nicht nötig, daß man eine Allee selbst abbildet, es genügt eine Reihe von Marken, ja schon ein Paar einzelner Marken, von denen die eine gegen die andere verschiebbar ist. Je nach der Einstellung der beweglichen Marke wird man das mit beiden Augen betrachtete Markenpaar, zu einem Punkte für unsere Sinneswahrnehmung zusammenfließend, in verschiedenen, aber bekannten Entfernungen zu erblicken glauben.

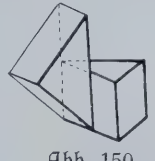


Abb. 150. Porrosche Prismen zur Bildumkehr.

Das Instrument leistet vorzügliche Dienste bei solchen Personen, die des räumlichen Sehens gut fähig sind. Da diese Fähigkeit nicht Allgemeingut ist, so kam man auf eine andere Anordnung und benutzte nur ein Okular, aber zwei in beträchtlichem Abstand voneinander befindliche Objektive. Dabei wird das eine Bild umgekehrt, so daß man jetzt zwei Bilder desselben Gegenstandes übereinander erblickt. Die Einschaltung einer Glasplatte gestattet die Bilder gegeneinander zu verrücken. Eine Drehung der Glasplatte gestattet dann, die Bilder zur Deckung zu bringen und ein an der Drehvorrichtung angebrachter Teilkreis, die Entfernung abzulesen. Diese Entfernungsmesser sind unter dem Namen „Telemeter" bekannt geworden. Bei einem Abstand der Objektive von 10 m, der natürlich einen festen, großen Aufbau voraussetzt, vermag man dann selbst auf Entfernungen bis 10 km die Entfernung eines Gegenstandes bis auf 10 m genau abschätzen. Da man mit dem Abstand der Objektive noch weiter gehen kann, vermag man jede, etwa im Seekrieg wünschenswerte Genauigkeit der Entfernungsschätzung zu erreichen.

Ebenso wie man durch geeignete Linsenanordnungen entfernte Gegenstände dem Auge näher bringen kann, ist es auch möglich, nahe, aber kleine Gegenstände vergrößert erscheinen zu lassen. Diese Aufgabe löst das Mikroskop.

Das Objektiv (s. Abb. 151) entwirft von dem kleinen Gegenstand g ein umgekehrtes, vergrößertes, wirkliches Bild b, das mittels einer abermals vergrößernden Lupe betrachtet und so als scheinbares Bild B entworfen wird. Selbstverständlich würde ein solches aus nur zwei einfachen Linsen bestehendes Mikroskop alle möglichen Fehler aufweisen. Wie beim Fernrohr werden sie herabgedrückt oder merklich ver-

mieden durch eine Zusammenstellung von Linsen verschiedener Krümmung und verschiedenen Glases.

Die Verbesserung des Mikroskops beruhte lange Zeit lediglich darauf, daß man versuchend vorging und zusah, ob man durch Veränderung der Krümmung der Linsen Verbesserungen erzielen konnte. Das Verfahren wurde aber schließlich so weitschweifig, daß der Mechaniker Karl Zeiß in Jena sich an den damaligen jungen Dozenten der Physik Abbé wandte mit der Bitte, eine Verbesserung auf wissenschaftlicher Grundlage herbeizuführen. Abbé glaubte zunächst, daß die mangelnde Schärfe der Abbildung durch die Randstrahlen bedingt sei und daß man daher durch ihre Abblendung einen Fortschritt erzielen könnte. Der in dieser Richtung gemachte Versuch schlug vollständig fehl. Abbé sagte sich daher, daß die Randstrahlen noch eine andere bisher unbekannte Bedeutung haben müßten. Um möglichst einfache Verhältnisse zu gewinnen, legte er ein feines Gitter unter das Mikroskop und beobachtete jetzt beim Herausnehmen des Okulars in der Brennebene des Objektives eine Beugungserscheinung.

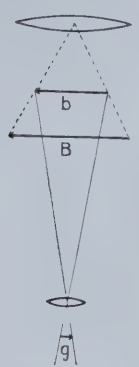


Abb. 151. Anordnung des Mikroskops.

Abbé kam so zu der Auffassung, daß die Strahlen, die von dieser Beugungserscheinung ausgehen, schließlich das mikroskopische Bild entwerfen. Dieses war also ein Bild zweiter Hand (sekundäre Abbildung). Wenn man nun die ungradzahligen Beugungsbilder abblendete, so hatten die vorhandenen Beugungsbilder den doppelten Abstand wie vorher. Eine solche Beugungserscheinung kann aber erzeugt werden durch ein Gitter vom halben Gitterabstand, wie das vorher benutzte. In der Tat erblickt man dann im Mikroskop ein Gitter, das doppelt so viele Striche aufweist, wie das wirkliche Gitter. Blendet man aber alle Beugungsspektra ab mit Ausnahme des mittleren ungebeugten Bildes, so sieht man überhaupt keine Gittergestalt mehr, sondern eine gleichförmige Helligkeit. Das wirkliche Bild wird eben durch Zusammenwirkung der Beugungsbilder hervorgerufen. Je besser diese ausgebildet sind, desto getreuer ist das mikroskopische Bild. Das also war die Bedeutung der Randstrahlen: die Ausbildung der seitlichen Beugungsbilder. Die mindeste Anforderung, die man an die Erzeugung des Bildes stellen muß, ist die, daß neben dem unabgelenkten Bild mindestens noch ein Beugungsbild auftritt. Auf diese Art konnte Abbé zeigen, daß der geringste Abstand zweier Striche, die im Mikroskop noch aufgelöst erscheinen sollen, nicht kleiner sein darf, als die Wellenlänge des benutzten Lichtes. Durch Verwendung von Flüssigkeiten (Immersion), die zwischen Gegenstand und Objektiv gebracht werden, kann die Wellenlänge herabgesetzt und so das Auflösungsvermögen erhöht werden. Durch schiefe Beleuchtung endlich kann man das doppelte Auflösungsvermögen erzeugen.

Nachdem diese Zusammenhänge erkannt waren, machte der Bau der Mikroskope außerordentliche Fortschritte, besonders als es Abbé in Vereinigung mit dem Chemiker Schott gelungen war, neue Glasschmelzen zu finden, die besser als die bisher benutzten die Forderungen erfüllen, die man an die Beschaffenheit der Linsen stellen muß.

Mit solchen Hilfsmitteln gelang es, die naturgemäß mögliche Grenze des Auf-

lösungsvermögens tatsächlich zu erreichen. Dabei beträgt der Abstand zweier eben noch trennbaren Linien rund ein zehntausendstel Millimeter.

Wenn man also das Auflösungsvermögen des Mikroskops nicht weiter steigern kann, so liegt das nicht an der Unfähigkeit der Hersteller, sondern an der Wellennatur des Lichtes, die die Beugung veranlaßt.

Aber gerade die Beugung allein gestattet es unter Verzicht auf Auflösung von Einzelheiten noch kleinere Gegenstände sichtbar zu machen. Bei dem Ultramikroskop von Siedentopf und Zsigmondy läßt man das Licht auf den zu betrachtenden Gegenstand seitlich auffallen, d. h. in einer Richtung senkrecht zur Achse des Mikroskops (s. Abb. 152). Kleine Teilchen, die sich genügend von der Umgebung abheben, wie in Glas aufgelöste Goldteilchen, beugen das Licht ab und können im Mikroskop als helle Pünktchen in einer dunklen Umgebung wahrgenommen werden. Diese Teilchen erscheinen wie helle Sterne am dunklen Himmel. Im allgemeinen kann man nur das Vorhandensein dieser Teilchen feststellen, nicht aber die Einzelheiten ihrer Beschaffenheit.

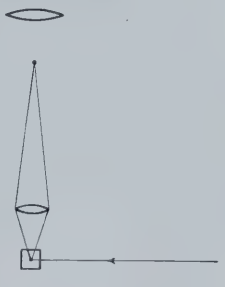


Abb. 152. Ultramikroskopische Anordnung.

Einfachere Anordnungen als das zunächst angegebene Ultramikroskop von Siedentopf und Zsigmondy benutzen das durch Spiegel auf das Objektiv in einer Richtung senkrecht zur Achse des Mikroskops geworfene Licht (Dunkelfeldbeleuchtung). Dadurch wird es möglich, jedes Mikroskop durch einen geeigneten Ansatz in ein Ultramikroskop zu verwandeln. Mit diesem Hilfsmittel ist es möglich, Teilchen bis zu einer Größe von etwa 5 milliontel Millimeter wahrzunehmen.

Eine der weittragendsten Erfindungen auf dem Gebiete des Lichtes ist die des Lichtbildwesens oder der Photographie. Das erste brauchbare Verfahren zu diesem Zwecke gab im Jahre 1839 Daguerre. Er schlug auf einer ebenen Kupferplatte durch den elektrischen Strom eine Silberschicht nieder, die er oberflächlich so weit jodierte, daß sie goldgelb aussah. Diese Platte wurde belichtet und dann den Dämpfen von Quecksilber ausgesetzt, das sich an den belichteten Stellen niederschlägt. Das überflüssige Jodsilber wird nachher durch unterschwefelsaures Natron oder Zyankalilösung entfernt. An den belichteten Stellen verbleibt der Quecksilberniederschlag, der das Licht zerstreut, so daß die Platte im zerstreuten Lichte unmittelbar ein richtiges Bild (Positiv) erscheinen läßt. Aber die Empfindlichkeit der Daguerreschen Platte war nur sehr gering, so daß zu einer Personenaufnahme häufig 20 Minuten nötig waren, was an die Geduld der aufzunehmenden Personen eine große Anforderung stellte.

Die heutige photographische Platte leistet dasselbe im Bruchteil einer Sekunde. Sie besteht aus einer Anschwemmung (Emulsion) von Bromsilber in Gelatine. Diese wird in geschmolzenem Zustand auf eine Glasplatte aufgetragen und zeigt nach der Erstarrung ein trüb gelbliches Aussehen.

Nach der Belichtung sieht man in der Dunkelkammer, in der zur Vermeidung weiterer Lichtwirkung nur eine schwachrote Lampe benutzt werden darf, zunächst nichts von dem Bild. Erst wenn man die Platte in eine Lösung von Hydrochinon oder einen sonstigen „Entwickler" bringt, tritt das Bild dunkel auf hellem Grund

hervor. Durch den Entwickler wird das Silber an den belichteten Stellen reduziert in Form von kolloidalem schwarzem Silber. Ein zweites Bad, das „Fixierbad" löst mit denselben Flüssigkeiten, die oben schon genannt sind, das überschüssige Bromsilber weg, so daß jetzt ein umgekehrtes Bild (Negativ) zum Vorschein kommt.

Um ein Positiv zu erhalten, wird hinter die getrocknete Platte ein Positivpapier gebracht, das meist aus einer Chlorsilberemulsion in Kollodium oder Gelatine besteht. Nach entsprechender Behandlung erhält man dann das Positiv.

Die einfache Bromsilberplatte ist farbenblind, d. h. sie ist hauptsächlich für Grün, Blau und Violett empfindlich, für Gelb nur schwach und für Rot gar nicht. Indem man die Platte in geeigneten Farbstofflösungen badet, erhält sie die Befähigung, auch das Rot des auffallenden Lichtes zu verschlucken und lichtbildnerisch wirksam zu machen. Solche Lösungen bezeichnet man als Sensibilisatoren. Die Platten geben dann den Helligkeitswert der Farben annähernd richtig wieder. Sie sind auch die Voraussetzung für das Farbenlichtbild (Farbenphotographie).

Besonders bequem ist das Verfahren von Lumière. Er benutzte Stärkekörner von etwa $^1/_{100}$ mm Durchmesser, die zu je ein Drittel rot, grün bzw. blau gefärbt sind. Die verschiedenfarbigen Körner werden miteinander vermischt, auf eine gewöhnliche photographische Platte gestreut und durch eine Walze platt gedrückt, so daß sie überall mit farbigen Körnchen bedeckt ist. Wenn man durch eine solche Platte hindurch z. B. einen roten Gegenstand abbildet, so wird eine Lichtwirkung nur hinter den roten Körnern auftreten. Die Platte wird entwickelt und die Gelatine wird hinter den roten Körnern undurchsichtig. Jetzt löst man die undurchsichtigen Silberteilchen mittels einer schwach sauren Lösung auf und belichtet abermals mit zerstreutem weißen Licht. Nach einer abermaligen Entwicklung wird die Gelatine hinter den nicht roten Körnchen geschwärzt und bleibt nur hinter den roten Körnern durchsichtig, so daß auf diese Art unmittelbar das rote Licht erhalten wird. Das Entsprechende gilt für die anderen Farben und die Mischfarben. Die Vereinigung der verschiedenen Farben einer bestimmten Stelle des Bildes geschieht durch das Auge, so daß dort ein zusammenfügendes (additives) buntes Mischbild entsteht.

Leider geben diese Lumière-Platten und ähnliche nur verhältnismäßig dunkle Bilder. Bei weitem hellere und farbenprächtigere Bilder erzielt man durch ein anderes Verfahren. Man macht durch drei Lichtfilter hindurch, die der Reihe nach eine gelbe, purpurrote und blaugrüne Färbung aufweisen, drei Aufnahmen. Ein gelber Gegenstand wird, durch das gelbe Filter hindurch aufgenommen, ein dunkles Bild ergeben. Hinter diesem Bild erzeugt man jetzt ein Positiv, das gelb angefärbt wird. Durch Übereinanderdeckung der drei Teilbilder erhält man dann ein farbentreues Mischbild.

Unter den Verfahren solcher Art ist besonders das von Traube ausgearbeitete, die sogenannte Uvachromie, durch helle und farbenprächtige Bilder ausgezeichnet. Freilich entstehen auf diese Art nur zur Bildwerfung (Projektion) geeignete Diapositive. Die Herstellung von farbigen Bildern auf Papier ist zwar auch geglückt, aber mit ziemlichen Umständen verbunden und erfordert eine große Meisterschaft des Photographen.

Dagegen hat der Dreifarbendruck eine weitgehende Anwendung gefunden und sich schon zu einer hohen Vollkommenheit aufgeschwungen. Dabei wurden die Teil-

bilder durch Raster in Gebilde von feinsten Strichen aufgelöst, die bei den verschiedenen Teilbildern verschiedene Richtung haben und so ein einheitliches farbentreues Gesamtbild ergeben.

11. Starkstromtechnik.

Dynamo. Elektromotor. Elektrische Beleuchtung. Dreileitersystem. Elektrische Fern-Kraftübertragung.

Als das Geburtsjahr der Elektrotechnik kann man wohl das Jahr 1866 bezeichnen, in dem Werner Siemens die Dynamomaschine erfand, die die Aufgabe löst, elektrische Energie unmittelbar aus mechanischer Energie zu erzeugen.

Selbstverständlich ist diese Maschine nicht ohne vorbereitende Entwicklung. Schon ein Jahr, nachdem Faraday Induktionsströme entdeckt hatte, baute Pixii 1832 eine magnet-elektrische Maschine (s. Abb. 153). Ein Hufeisen-Dauermagnet wird an einem Anker vorbeigedreht, der mit zwei Spulen versehen ist. In diesen Spulen wird bei Annäherung der Pole des Magneten ein Induktionsstrom erzeugt, der bei Entfernung in entgegengesetzten Strom umschlägt. Die entstehende Stromart ist also ein Wechselstrom, d. h. ein Strom, der seine Richtung in gewissen Zeitabständen ändert. Er kann in einen stoßweisen oder pulsierenden Gleichstrom umgewandelt werden durch Verwendung einer geeigneten Stromwechselvorrichtung genannt Kommutator.

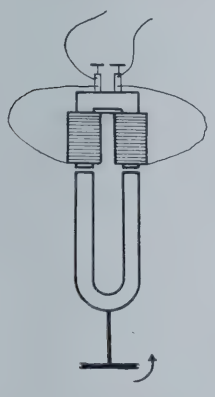


Abb. 153. Anordnung einer magnet-elektrischen Maschine von Pixii.

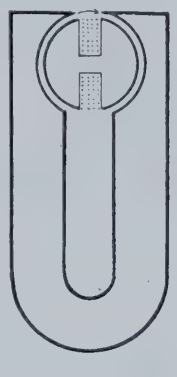


Abb. 154. Anordnung der Doppel-T-Anker-Maschine von Siemens.

Eine Verbesserung dieser Vorrichtung wurde von Werner Siemens durch Einführung des Doppel-T-Ankers (s. Abb. 154) angegeben. Ein Eisenstück von der Form des Doppel-T wird im Felde eines Hufeisenmagneten umgedreht. In den Aussparungen des Ankers befinden sich die elektrischen Wickelungen, in denen wieder Induktionsströme bei der Drehung entstehen.

Der Grund der besseren Wirkung liegt darin, daß der „magnetische Widerstand" des ganzen magnetischen Kreises gegenüber der Anordnung von Pixii vermindert wird. Ähnlich nämlich, wie in einem elektrischen Kreise der elektrische Widerstand verkleinert und die Stromstärke vergrößert wird, wenn man die Länge der Leiter verringert, ihren Querschnitt vergrößert und ihr Leitvermögen verbessert, ebenso wird das magnetische Feld in der Spalte eines magnetischen Kreises um so stärker, je geringer die Längen und je größer die Querschnitte dieses Kreises sind und aus je besseren magnetisch leitenden Stoffen der Kreis aufgebaut ist.

Nun ist bekannt, daß der Elektromagnet ein bedeutend stärkeres magnetisches Feld erzeugen kann als der Dauermagnet. So hat Wilde 1866 den Magneten der

Pixii-Maschine durch einen Elektromagneten ersetzt, der seinerseits durch eine magnet-elektrische Maschine mit Strom versehen wird.

Bei dieser Wildeschen Maschine hat man es bereits mit drei Stromteilen zu tun, nämlich erstens mit dem Teil, der im Anker die Induktionsströme erhält, dem Ankerstrom, zweitens mit dem Teil, der um die Schenkel des Elektromagnetkernes gewickelt ist, dem Schenkelstrom, und drittens dem äußeren Stromteil, der den Nutzstrom darstellt.

Noch im selben Jahr 1866 kam Werner Siemens auf den Gedanken, den Schenkelstrom durch den Ankerstrom zu verstärken. Dabei zeigte sich, daß es nicht

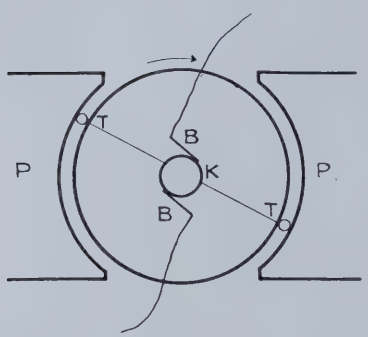


Abb. 155. Anordnung des Trommelankers von Hefner-Alteneck.
P = Pole des Elektromagneten. T = Trommelanker. K = Kollektor. B = Bürsten.

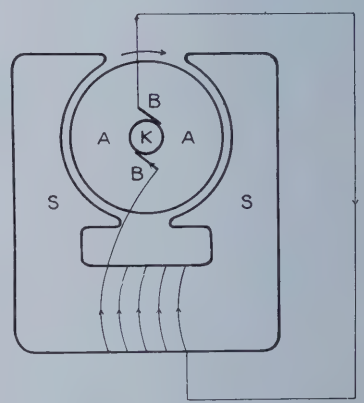


Abb. 156. Anordnung einer Dynamomaschine.
S = Schenkel des Elektromagneten. A = Anker. K = Kollektor. B = Bürsten.

einmal nötig war, diese Maschine von außen her zu erregen. Wenn sie nur einmal erregt war, behielt der Eisenkern des Elektromagneten noch genug rückbleibenden Magnetismus (remanenten Magnetismus), um einen schwachen Induktionsstrom im Anker zu erzeugen. Dieser fließt dann den Schenkeln zu und erregt sie stärker, diese erzeugen wieder stärkeren Induktionsstrom usf. bis das Eisen der Schenkel gesättigt ist, ein Vorgang, der sich in kurzer Frist abspielt. Eine solche Maschine ist als kraftelektrische oder „dynamoelektrische" Maschine zu bezeichnen, da sie unmittelbar die mechanische Energie des Antriebs in elektrische Energie umsetzt.

Die Forderung eines möglichst kurzen magnetischen Schlusses wurde später durch Hefner-Alteneck dadurch noch besser erfüllt, daß er (s. Abb. 155) die Windungen in den engen Spalt legte, der zwischen den Polen des Elektromagneten und dem Eisenzylinder liegt, der die Wicklung trägt. Der Eisenzylinder selbst besteht nicht aus zusammenhängendem Eisen, sondern aus elektrisch voneinander getrennten (isolierten) eisernen Blechen zur Vermeidung von zu starken Induktionsströmen im Eisen selbst, die eine Erwärmung und also Kraftverschwendung zur Folge hätten. Das Bild zeigt an der Spalte nur den Querschnitt von zwei Drähten, die den Strom dem Sammler oder „Kollektor" zuführen, von dem der Strom durch Bürsten ab-

genommen wird. In Wirklichkeit hat man es nicht mit zwei, sondern einer Folge von Drähten zu tun, und ebenso befinden sich auf dem Kollektor eine Reihe von leitenden Blättchen (Lamellen), die voneinander elektrisch getrennt (isoliert) sind. Durch eine geeignete Verbindungsweise der Drähte bewirkte Hefner-Alteneck, daß der Strom die Bürsten stets im gleichen Sinne verläßt. Man spricht dann von einer Gleichstrommaschine. Abb. 156 zeigt die Gesamtanordnung einer solchen.

Die Erhöhung der Spannung hat eine wesentliche Bedeutung für die Billigkeit der Anlage. Es ist nämlich zu beachten, daß die in der Leitung erzeugte Wärme, wie an anderer Stelle gezeigt wurde, verhältig ist dem Widerstand der Leitung und dem Quadrat der Stromstärke. Bei Verzehnfachung des Stromes würde man also den hundertfachen Verlust haben. Man darf den Widerstand der Leitung nicht zu groß wählen. Will man nun das Netz von einem mittleren Punkt auf die zehnfache Länge ausspannen, ohne den Widerstand der Leitung zu erhöhen, so müßte man, da die zehnfache Länge auch den zehnfachen Widerstand bedingt, auch den Querschnitt verzehnfachen, d. h. man brauchte die hundertfache Kupfermenge. Um die großen Anlagekosten zu verringern, mußte man daher darauf sinnen, die Stromstärke, mit der die Leitung beansprucht wird, herabzumindern, ohne die Leistung zu verringern. Da nun die elektrische Leistung durch das Produkt von Stromstärke und Spannung bestimmt ist, so kann man die Stromstärke auf den zehnten Teil herabmindern, wenn man nur die Spannung auf das Zehnfache erhöht, ohne daß die Leistung vermindert würde. Die unmittelbare Verwendung hoher Spannungen ist nun für die Dynamo ebenso schwierig und bedenklich, wie für den Motor. Man verwendet daher ruhende „Transformatoren", oder Stromwandler, die in gleicher Weise niedergespannten Starkstrom in hochgespannten Strom niederer Stromstärke verwandeln. Der technische Stromwandler unterscheidet sich von dem Induktionsapparat hauptsächlich dadurch, daß er einen in sich geschlossenen Eisenkern enthält. Die beiden Wicklungen können entweder übereinander oder nebeneinander angeordnet werden. Der Strom wird an der Erzeugungsstelle des Stromes auf höhere Spannung gebracht und an der Verwendungsstelle durch einen zweiten Transformer wieder auf niedere Spannung.

Die erste größere Kraftübertragung wurde auf Anregung von Oskar v. Miller gelegentlich der Frankfurter elektrotechnischen Ausstellung im Jahre 1890 auf der 175 km langen Strecke Lauffen-Frankfurt hergestellt. Die dabei benutzte Spannung betrug 8500 Volt. In dem Maße, wie man lernte, bessere Porzellanisolatoren zu bauen, ging man zu immer höheren Spannungen über. In Deutschland hat man bisher Spannungen bis über 110000 Volt verwendet und steht im Begriff auf 220000 Volt überzugehen.

Auf diese Weise ist es möglich, die elektrische Energie auf viele Hunderte von Kilometern zu übertragen und dadurch die an einem Orte vorhandenen natürlichen Energiequellen, seien es Wasserkräfte oder Kohlenvorräte, einem weit ausgedehnten Lande nutzbar zu machen.

12. Schwachstromtechnik und drahtlose Fernzeichen (drahtlose Telegraphie und Telephonie).

Telegraph. Telephon. Mikrophon. Drahtlose Telegraphie und Telephonie.

Lange bevor man dazu kam, elektrische Energie auf größere Entfernungen zu leiten, hatte man schon begonnen, schwächere Ströme zur Zeichengebung zu verwenden. v. Soemmering benutzte im Jahre 1809 die zersetzende Wirkung des Stromes zum Zeichengeben. Jeder Buchstabe erhielt ein Zersetzungsröhrchen zugewiesen, das durch einen Draht mit der Sendestelle verbunden war; ein Draht diente der gemeinsamen Stromrückleitung. Die Anordnung war zu umständlich, als daß sie weitere Verwendung hätte finden können. So beginnt die eigentliche elektrische Zeichengebung oder Telegraphie mit Gauß und Weber, die im Jahre 1833 zwei Drähte zwischen der Sternwarte und dem physikalischen Institut ausspannten. An der Sendestelle wurde durch Einschieben eines Magneten in eine Spule der elektrische Strom erzeugt. An der Empfangsstelle wurde dieser Strom zunächst mit einem Spiegelgalvanometer beobachtet. Ein rascheres Zeichengeben wurde durch die Erfindung von Morse ermöglicht. Mit seinen Versuchen 1835 beginnend, betätigte er durch den Strom einen Elektromagneten, mit dem ein Hebel verbunden war, der auf einen vorbeilaufenden Papierstreifen Punkte und Striche aufzeichnete. Nicht unwichtig ist auch der Morsetaster, der einen Hebel durch Druck zu betätigen gestattet, wobei die elektrische Leitung geschlossen wird, während beim Nachlassen des Druckes eine Feder selbsttätig die Unterbrechung bewirkt. Dieser Taster gestattet eine außerordentlich rasche Zeichengebung. Durch eine geeignete Zusammenstellung von Punkten und Strichen werden die Buchstaben des Alphabets, Ziffern und Satzzeichen festgelegt. Je häufiger das Zeichen vorkommt, desto einfacher ist das Zeichen der Wiedergabe gewählt, z. B. für das „e" nur ein Punkt.

Steinheil zeigte 1837, daß man Eisenbahnschienen, 1838 sogar die Erde zur Rückleitung des Stromes benutzen könne; die Auslegung eines einzigen Drahtes genügt. Bald kam man dazu, Festländer, die durch Meere getrennt sind, durch Drahtleitung miteinander zu verbinden. Der Leitungsdraht mußte dann freilich von einer nicht leitenden Hülle umgeben und diese durch einen Bleimantel gegen Unbilden der Umgebung geschützt werden. Dabei tritt insofern eine Schwierigkeit auf, als eine solche Leitung eine Leidener Flasche darstellt, deren innerer Belag der Draht, deren äußerer Belag der Bleimantel ist. Es dauert also eine Weile, bis man das Kabel aufgeladen und vor einem neuen Zeichen wieder entladen hat. Zur Niederschrift der Zeichen benutzte Thomson einen Heberschreiber. Das ist eine Vorrichtung, die aus einer Glasspitze farbige Flüssigkeit auf ein vorbeilaufendes Papier aufspritzt, wobei die Glasspitze in fester Verbindung mit dem Magneten eines sehr empfindlichen Galvanometers steht.

Die Zahl und Länge der Leitungen ist mit der Zeit immer mehr angewachsen und zugleich ihre Beanspruchung. Man mußte daher darüber nachdenken, immer mehr Zeichen in bestimmter Zeit zu übermitteln. Zu diesem Zwecke bauten Siemens & Halske einen Funkenschnelltelegraphen, der kleine Fünkchen auf ein chemisch empfindliches Papier überspringen läßt. Mit dieser Vorrichtung können 2000 Zeichen

in der Minute gegeben werden. Ja, es ist sogar gelungen, unmittelbar gedruckte Buchstaben aufzuschreiben, und zwar 300 bis 800 in der Minute. Selbstverständlich kann der Morsetaster nicht so rasch betätigt werden und es wird daher ein vorher schreibmaschinenartig belochtes Papier dem Sendeapparat anvertraut, der es selbsttätig abwickelt und dabei die Stromschlüsse herstellt.

Bald ging man auch zu Versuchen über, die Sprache von einem Ort zum anderen elektrisch zu übertragen. Einen ersten Versuch dieser Art machte der deutsche Physiker Philipp Reis, der aber zunächst nur wenig beachtet wurde. Auf eine außerordentlich einfache Anordnung kam Graham Bell im Jahre 1876. Das „Bellsche Telephon" besteht aus einem Dauermagneten, dem eine Eisenplatte gegenübersteht (Abb. 157). Der Dauermagnet trägt in Nachbarschaft der Eisenplatte eine Drahtspule,

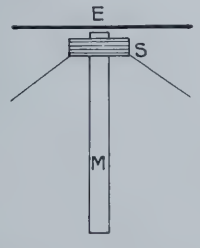


Abb. 157. Anordnung des Bellschen Telephons. E = Eisenplatte. M = Magnet. S = Spule.

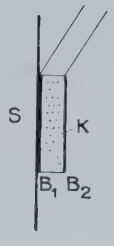


Abb. 158. S = Schallplatte. B_1B_2 = leitende Belege. K = Kohlenkörner.

in der Induktionsströme erzeugt werden, sobald die Eisenplatte durch Besprechung ihre Entfernung vom Magneten ändert. Durch diese Bewegung wird nämlich der magnetische Widerstand des aus Magnetstab, Luftzwischenraum und Eisenplatte gebildeten magnetischen Kreises verändert, wodurch die Induktionswirkung zustande kommt. Je ein solches Telephon befindet sich beim Geber und beim Empfänger. Bei diesem verändern die ankommenden Ströme den Magnetismus des Magneten und bewirken dadurch eine wechselnde Anziehung der Eisenplatte. Diese kommt daher in der gleichen Zeitfolge, wie die Eisenplatte des Senders zum Schwingen und gibt so zu einer Schallwelle den Anlaß.

Bei dieser einfachen Anordnung stammt die Energie der Ströme von der Energie der Luft, die von dem Sprechenden in Bewegung gesetzt wird. Die Schallstärke und die Entfernung der beiden Stellen sind daher beschränkt. Diesem Übelstand half Hughes 1878 ab, indem er elektrische Zellen als Stromquelle benutzte. Der Sprechende hat dann nur die Stromstärke im Kreis abzuändern. Dazu dient das „Mikrophon" (Abb. 158). Zwischen der zu besprechenden Platte, die jetzt aus beliebigen Stoffen, z. B. Hartgummi bestehen kann und die auf der hinteren Seite mit einem Stanniolblättchen versehen ist und einer weiter hinten liegenden Elektrode, befinden sich bei den neueren Mikrophonen Kohlekörnchen, die durch den wechselnden Druck bei Bewegung der Platte einen wechselnden elektrischen Widerstand darbieten. Dadurch wird die Stromstärke abgeändert, die entsprechende Schwankungen im Telephon des Empfängers bedingt.

Eine Zeichengebung auf größere Entfernung ohne Draht mittels der Hertzschen Wellen ist zum erstenmal Marconi 1896 gelungen. In früheren Abschnitten wurde

bereits auseinandergesetzt, daß die Hertzschen Versuche eine Art drahtloser Telegraphie darstellen, allerdings nur von einem Zimmer in das andere. Marconi verband mit einem durch Righi veränderten Hertzschen Sender eine lange, in die Höhe strebende elektrische Leitung, die blind endete, die „Antenne", während der andere Pol der Funkenstrecke zur Erde abgeleitet wurde. Schon 1897 gelang ihm im Bristolkanal die Zeichengebung auf eine Entfernung von 14 km. Als Empfänger benutzte er eine zweite Antenne, die die elektrischen Wellen aufnahm. Nachgewiesen wurden sie nicht wie bei Hertz durch kleine Fünkchen, sondern durch den von Branly erfundenen Fritter oder Kohärer. Er besteht aus einem kleinen Röhrchen, das zwischen zwei Elektroden Metallpulver oder Metallfeilicht enthält. Die Elektroden sind mit der Antenne einerseits und der Erdleitung andererseits verbunden. Durch Zutritt der Wellen wird das Pulver leitend gemacht, das vorher nicht leitend war. Wenn man diesen „Fritter" gleichzeitig in eine Leitung hineinlegt, die eine elektrische Zelle und eine elektrische Klingel, oder einen Morseklopfer enthält, so kann die Zelle einen Strom betätigen und Zeichen geben, sobald die elektrischen Wellen eintreffen. Durch einen Klopfer, der auch selbsttätig ausgelöst werden kann, wird das Pulver wieder in den nicht leitenden Zustand versetzt und zur Aufnahme eines neuen Zeichens bereitgestellt.

Diese Anordnung litt noch an dem Mangel, daß der Hertzsche Sender nur eine geringe elektrische Energie aufgespeichert enthält, die alsbald durch Strahlung verlorengeht. Es war daher ein wesentlicher Fortschritt, als Ferdinand Braun einen geschlossenen Schwingungskreis zu Hilfe nahm, der eine große Kapazität besaß und der nun auf die Antenne einwirkte. So konnte der Schwingungskreis allmählich die von der Antenne ausgestrahlte Energie wieder ersetzen, so daß dadurch eine vergrößerte Reichweite erzielt wird.

Es ist hier nicht der Ort, die ganze Entwicklung der drahtlosen Telegraphie zu schildern, und es werde daher sofort auf diejenigen Anordnungen eingegangen, die gegenwärtig noch im Gebrauch sind.

Die bisher geschilderte Anordnung litt noch an dem großen Mangel, daß die elektrischen Schwingungen des Senders stark gedämpft waren, d. h. der Ausschlag der elektrischen Schwingungen, bzw. die Größe der elektrischen Kräfte nahm von Schwingung zu Schwingung immer stärker ab, so daß die Schwingungen nach kurzer Zeit erloschen. Bedenkt man, daß die benutzten Schwingungen etwa 1 millionstel Sekunde dauern und nimmt man an, daß nach 10 oder selbst 100 Schwingungen die Welle merklich abgeklungen sei, so beträgt die Dauer der Zeichengebung nur 1 hunderttausendstel bis 1 zehntausendstel Sekunde. Die Zahl der Unterbrechungen der Funkenstrecke betrug aber anfangs höchstens vielleicht fünfzig in der Sekunde, so daß also von dem Zeitraum einer fünfzigstel Sekunde nur höchstens der zweihundertste Teil mit elektrischen Schwingungen ausgefüllt war.

Was aber vielleicht noch ungünstiger sein mochte, das war der Umstand, daß eine solche starke gedämpfte Schwingung nahezu jeden elektrischen Schwingungskreis in Erregung versetzt.

Nun wurde schon in der Lehre vom Schall darauf hingewiesen, daß das Mitschwingen oder die Resonanz zweier Stimmgabeln oder Schwingungskreise davon abhängt, daß die beiden eine gleiche Schwingungsdauer besitzen, und von der Zahl

der wirksamen Schwingungen hängt die Schärfe der Resonanz ab, die um so größer ist, je weniger gedämpft die Schwingung ist.

Will man es daher erreichen, daß verschiedene Sende- und Empfangsstellen nebeneinander betätigt werden können, so ist die Benutzung von ungedämpften Schwingungen ein unbedingtes Erfordernis. Dann können nämlich die zugehörigen Stellen mit aufeinander abgestimmten Schwingungskreisen versehen werden und keine solche Stelle wird eine nicht zu ihr gehörige in Mitschwingung versetzen, wenn alle Paare von Stellen Schwingungskreise mit verschiedenen Schwingungsdauern, bzw. verschiedenen Wellenlängen benutzen.

Als Erreger ungedämpfter Schwingungen kommt in Betracht der Poulsonsche Lichtbogensender. Bereits der Deutsche Simon hatte gezeigt, daß ein Lichtbogen durch elektrische Schwingungen in Mitleidenschaft gezogen werden kann, derartig, daß die Temperaturschwankungen im Bogen entsprechende Druckschwankungen, also Schallwellen, auslösen. Duddell hat später gelehrt, wie man den Lichtbogen in einen elektrischen Schwingungskreis mit Kapazität und Selbstinduktion einschalten kann, so daß er in deutliche Schwingungen gerät. Das waren allerdings noch Schwingungen, die in den Bereich der hörbaren Töne gehörten. Poulson wies nach, daß man den Lichtbogen auch erregen könnte mit Schwingungen, die bei der drahtlosen Telegraphie in Betracht kommen und die merklich ungedämpft verlaufen. Allerdings bedurfte es dazu besonderer Maßnahmen, die hier nicht weiter aufgeführt werden können.

Ein andres Verfahren ist vom Grafen Arco angegeben worden. Er geht unmittelbar von einer Wechselstromdynamomaschine aus, die 6000 Schwingungen in der Sekunde erregt. Höher kommt man unmittelbar nicht hinauf. Diese Schwingungen werden nun durch einen geeigneten „Transformator" auf 12000 Schwingungen gebracht. Es sei hier nur bemerkt, daß dabei die Eigenschaft des Eisens verwendet wird, im Sättigungszustand bei Verstärkung des den Magneten umfließenden Stromes keine Verstärkung des Magnetismus zu erfahren, während dieser bei Verminderung des Stromes dagegen eine Abschwächung erfährt. Ein zweiter Umwandler gestattet dann eine Zahl von 24000 Schwingungen zu erzeugen, was einer Wellenlänge von 12500 m entspricht, die noch verwendbar ist. Neuerdings verwendet man statt dessen höhere Oberschwingungen des Wechselstromes.

Als Empfangsvorrichtung wird jetzt an Stelle des Branlyschen Fritters meist ein Wellenanzeiger oder Detektor benutzt, der von Braun angegeben wurde. Dabei wird eine Metallspitze auf einen Kristall aufgesetzt, der den Strom nur im einen Sinne hindurchläßt, so daß dadurch magnetische oder telephonische Zeichen ausgelöst werden.

Die Energie der Arcoschen Maschine läßt sich bequem auf 500 Kilowatt steigern, wovon allerdings nur ein mäßiger Teil in Form von elektrischer Schwingungsenergie ausgeschickt wird. Mit diesem Hilfsmittel ist es bereits während des Krieges gelungen, Wellen um die ganze Erde herumzusenden. Es wurden nämlich, ohne daß es beabsichtigt war, von einer Empfangsstelle in Neuseeland die Zeichen aufgefangen, die von der Großfunkstelle Nauen ausgingen.

Eine ganz neue Entwicklung setzte während des Krieges ein durch Verwendung der Kathodenstrahlen. Diese Erfindung geht auf v. Lieben und de Forest zurück.

Heute benutzt man nicht schwach ausgepumpte Röhren, wie die Erfinder, sondern solche von höchster Gasleere, die nur durch die zwischen den Elektroden übergehenden Kathodenstrahlen leitend werden.

Die Wirkungsweise dieser „Elektronenröhren" ist in Abb. 159 wiedergegeben. Die Kathode K wird durch Akkumulatorenzellen Z_1 zum Glühen gebracht, wodurch sie befähigt wird, Kathodenstrahlen, d. h. Elektronen auszusenden. Der „Anodenkreis" K_a besteht dann aus der Röhre, der Hochspannungszelle Z_2 und einem

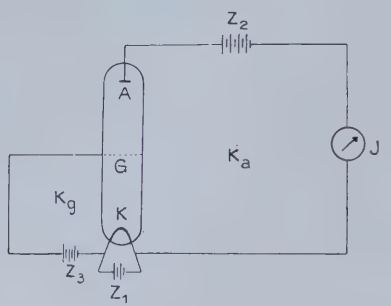


Abb. 159. Anordnung zur Prüfung der Elektronenröhre. A = Anode. K = Kathode. G = Gitter. K_a = Anodenkreis. K_g = Gitterkreis. $Z_1 Z_2 Z_3$ = Akkumulatorenzellen. J = Amperemeter.

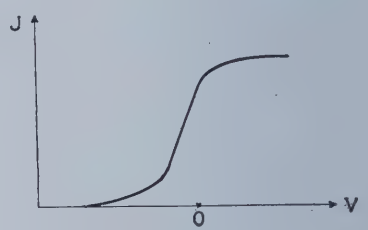


Abb. 160. „Charakteristik" einer Elektronenröhre. V = Gitterspannung. J = Stromstärke im Anodenkreis.

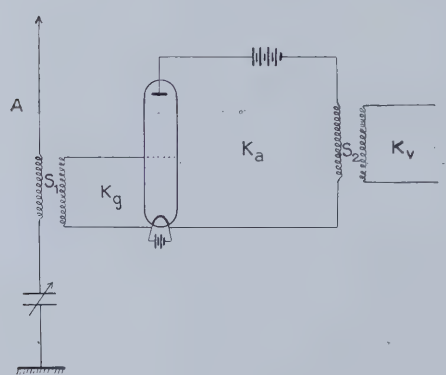


Abb. 161. Die Elektronenröhre als Verstärker. A = Antenne. K_g = Gitterkreis. K_a = Anodenkreis. $S_1 S_2$ = Induktionsspulen. K_v = Teil eines Kreises mit den verstärkten Schwingungen.

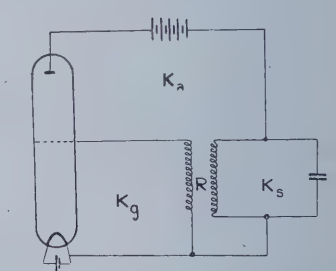


Abb. 162. Die Elektronenröhre als Schwingungserzeuger nach Meißner. K_s = Schwingungskreis. K_g = Gitterkreis. K_a = Anodenkreis. R = Rückkoppelungsspulen.

Amperemeter, das einen Strom J anzeigt. In dem Anodenkreis wird also vermöge der durch die Kathodenstrahlen erzeugten Leitfähigkeit der Röhre ein Strom fließen. Nun ist inmitten der Röhre noch ein Drahtgitter G angebracht, das einen Teil des Gitterkreises K_g bildet. Dieser Gitterkreis stellt über eine Zelle Z_3 die Verbindung zwischen dem Gitter und der Kathode her. Wenn nun die Zelle Z_3 so beschaffen ist, daß sie am Gitter eine genügend hohe negative Spannung hervorbringt, so wird dadurch das Gitter die Elektronen zurückstoßen und den Strom im Anodenkreis unterdrücken. Geht man dann bei Z_3 über die Spannung Null zu positiven Spannungen über, so wird der Anodenstrom zunächst immer stärker. Abb. 160 zeigt

den Zusammenhang zwischen der am Gitter angelegten Spannung V und der Stromstärke im Anodenkeis J, eine Kurve, die man als Charakteristik der Elektronenröhre bezeichnet. Besonders wesentlich ist für uns der Umstand, daß in einem gewissen Gebiete eine geringfügige Zunahme der Gitterspannung eine sehr starke Zunahme der Anodenstromstärke bedingt und diese Zunahme wird durch einen nahezu geradlinigen Verlauf der Kurve dargestellt. Je steiler der Anstieg der Kurve ist, desto stärker ist die Änderung der Stromstärke im Anodenkreis bei Änderung der Spannungen am Gitter.

Hier hat man also ein ausgezeichnetes Mittel, die ankommenden Wellen zu verstärken (s. Abb. 161). Man braucht bloß den Gitterkreis mit der Antenne zu koppeln, um im Anodenkreis beispielsweise elektrische Schwingungen von zehnfacher Stärke zu erzielen. Durch Verwendung von drei Röhren hintereinander kann man also die Stärke der ankommenden Schwingungen vertausendfachen.

Darüber hinaus läßt sich die Elektronenröhre auch als Wellenanzeiger (Detektor) verwenden, eine Möglichkeit, die dadurch gegeben ist, daß das Gitter bei

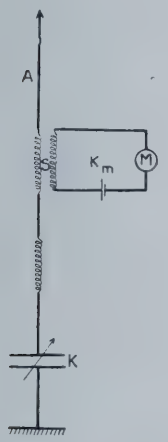


Abb. 163. Anordnung einer Antennenbesprechung. K_m = Mikrophonkreis. M = Mikrophon. S = Spulen zur Beeinflussung des Antennenstroms. A = Antenne. K = Drehkondensator in der Antennenleitung.

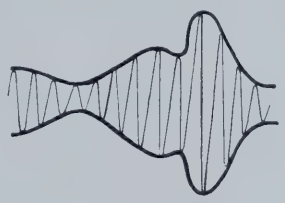


Abb. 164. Veränderung der Stärke der elektrischen Wellen nach Maßgabe der Schallstärke.

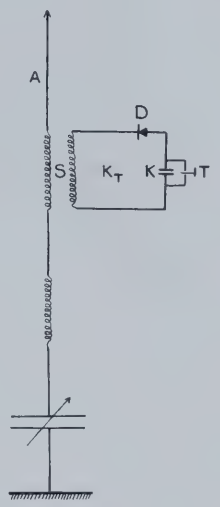


Abb. 165. Anordnung eines Schallempfanges. A = Antenne. S = Übertragungsspulen. K_T = Telephonkreis. D = Detektor. T = Telephon. K = Kondensator.

negativer Ladung für die Elektronen undurchlässig wird, so daß die Röhre als Gleichrichter wirkt und somit wie ein Kristalldetektor verwendet werden kann.

Endlich, und dies ist von besonderer Bedeutung, läßt sich die Röhre auch als Sender verwenden. Die von Meißner (Abb. 162) angegebene Schaltung besteht aus einem Schwingungskreis K_g mit Selbstinduktion und Kapazität, der mit dem Gitterkreis durch eine Spule gekoppelt ist. Wenn nun der Anodenstromkreis geschlossen wird, so entsteht eine Schwankung, die den Schwingungskreis K_g zu Schwingungen anregt. Durch seine „Rückkoppelung" mit dem Gitterkreis K_g werden die Schwingungen im Anodenkreis K_a und somit auch im Kreis K_s verstärkt. Das Spiel setzt dann von neuem ein, bis ein Höchstmaß der Schwingungen erreicht ist. An irgendeiner Stelle kann dann ein Sendedraht angeschlossen werden. Wichtig ist,

daß diese Röhre vollständig ungedämpfte Wellen aussendet, freilich Wellen von verhältnismäßig geringer Stärke; doch können immerhin Röhren bis 1 Kilowatt Leistung leicht gebaut werden, und durch Vereinigung mehrerer Röhren kann man noch größere Energien erzeugen.

Während man früher glaubte, daß für die Überbrückung großer Entfernungen die Verwendung großer Wellenlängen (d. h. Tausende von Kilometern) besonders günstig seien, fand man neuerdings, daß man auch mit kleinen Wellenlängen, am besten etwa mit solchen von 25 m, mit verhältnismäßig kleinen Sendeleistungen über den Ozean Zeichen geben kann.

Aber nicht bloß Morsezeichen, sondern auch die Sprache lassen sich auf drahtlosem Wege übermitteln. Zu diesem Zwecke ist es nur nötig, die Stärke der ungedämpften Wellen nach Maßgabe der Stärke der Schallschwingungen zu verändern (modulieren). So kann man beispielsweise (s. Abb. 163) die Schwankungen der Stromstärke in einem Mikrophonkreis K_m infolge der Besprechung des Mikrophons M mittels der Spulen S auf den Antennenstrom übertragen. Abb. 164 zeigt dann, wie sich die Schallstärkeschwankung über die Wellenschwankung überlagert. Die eng zusammengedrängten Wellen sind das Bild der elektrischen; die Umhüllungslinien der Ausschläge der elektrischen Wellen stellen die Schallschwingungen dar. Im Empfänger (s. Abb. 165) kann dann durch einen Kristalldetektor D Gleichrichtung eintreten, wodurch ein in den Schwingungskreis K_T parallel mit einem Kondensator K eingeschaltetes Telephon T nach Stärke und Dauer der Schallwellen zu Schwingungen veranlaßt wird.

Es ist hier nicht der Ort, auf die verschiedenen Arten von Verstärkungen und Schaltungen im einzelnen einzugehen. Nur soviel sei gesagt, daß man das gewöhnliche Mikrophon, das die Klänge stark verzerrt, durch bessere Vorrichtungen zu ersetzen gelernt hat und ebenso das Telephon. Die neueren Lautsprecher vermögen bereits wirkliche Kunstgenüsse zu übermitteln.

* * *

Vierter Teil

Angewandte Chemie

Von Prof. Dr. Hugo Kauffmann

Gliederung des vierten Teiles

Seite

I. Die Heizstoffe 269
II. Die Metalle 280
III. Die Silikate 288
IV. Die Kohlehydrate 294
V. Die Fette 304

I. Die Heizstoffe.

Während in früheren Zeiten der Mensch die Gütererzeugung, d. h. die Umarbeitung der rohen Naturstoffe in Gebrauchsgegenstände nur in primitiver Form vorzunehmen vermochte und an den Herstellungsverfahren Generationen herumtasteten, vollzog sich mit der Vertiefung der chemischen Wissenschaft, besonders seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts, eine das ganze Wirtschaftsleben umwälzende Umgestaltung der Technik. An die Stelle der überlieferten Vorschrift trat das chemische Denken, und zu der Frage nach dem Wie einer Arbeitsmethode kam die nach dem Warum hinzu. Mit dem Eindringen des wissenschaftlichen Geistes wurden die Verfahren verbessert, vollkommener und wirtschaftlicher, neue Hilfsmittel eingeführt, neue Erzeugnisse geschaffen und neue Absatzmöglichkeiten erschlossen. Die chemische Großindustrie erfand immer wieder neue, lohnendere Wege zur Gewinnung von Säuren, Alkalien und Chlor, dieser wichtigen Grund- und Hilfsmaterialien zahlreicher anderer Industriezweige, die selbst mächtig emporwuchsen, wie etwa die Industrie der Farbstoffe, Explosivstoffe und Düngemittel. Eine erschöpfende Schilderung der chemischen Technologie ist angesichts ihrer fast unergründlichen Vielseitigkeit in kurzen Auszügen nicht möglich, und daher beschränkt sich die hier zu entrollende Übersicht vor allem auf jene Industriezweige, die unmittelbar ins tägliche Leben eingreifen.

Chemische Vorgänge, welche zu den wichtigsten Unterlagen des heutigen Wirtschaftslebens gehören, und welche der Mensch schon seit den ältesten Zeiten sich untertan zu machen suchte, sind die Verbrennungserscheinungen. Sie liefern uns Wärme, die entweder unmittelbar als solche zu chemischen Zwecken oder mit Hilfe von Maschinen als Betriebskraft zu mechanischen Zwecken dient. Das der Verbrennung unterworfene Material, der Heizstoff, ist in der Regel Kohle oder eine Kohlenstoffverbindung, bisweilen auch Wasserstoff. Die bei der Verbrennung entwickelte Wärme, der Heizwert, richtet sich nach der chemischen Zusammensetzung des Materials und hat ihren Ursprung in der durch den Luftsauerstoff bewirkten Oxydation zu Kohlendioxyd und Wasserdampf. Zum Heizwert tragen nur diejenigen Bestandteile des Heizstoffes bei, die verbrennbar, also oxydierbar sind; die mineralischen Bestandteile sind, weil unverbrennbar, nur hemmender Ballast, der als glühende Asche oder Schlacke hinterbleibt. Der Grad der Ausnützung des Heizwerts wird von der Feuerungseinrichtung bestimmt und hängt davon ab, wie weit das Heizmaterial ausbrennt und wieviel Wärme die Abzugsgase fortführen und die Heizanlage an die Umgebung verliert.

Die Heizstoffe sind teils natürliche Produkte, teils künstliche Erzeugnisse. Wir unterscheiden sie nach ihrem Aggregatzustand, denn dieser legt die Art der Verfeuerung und der sonstigen Anwendung fest. Die Hauptvertreter der natürlichen festen Heizstoffe sind die Stein- und Braunkohlen, sowie Holz und Torf; die der künstlichen sind Koks und Holzkohle. Bei den flüssigen Heizstoffen haben wir die Erdöle als natürliche und das Teeröl, das Benzin und den Spiritus als künstliche Produkte; bei den gasförmigen begegnen wir einerseits den natürlichen Erdgasen und andererseits künstlichen Erzeugnissen, wie Leuchtgas, Wassergas und Generatorgas.

Das ursprünglichste Brennmaterial ist das Holz, der weitverbreitete, Stämme und Zweige bildende, pflanzliche Gewebekörper, der sich aufbaut hauptsächlich aus der als Zellhaut auftretenden Zellulose, aus dem die Verholzung bedingenden Lignin und aus anderen, zuckerähnlichen, organischen Substanzen. Alle diese Bestandteile sind sauerstoffreiche, chemische Verbindungen, deren Verbrennungswärme gerade infolge dieses Sauerstoffgehaltes verhältnismäßig niedrig ist. Außer ihnen beherbergt das Holz noch beträchtliche Mengen von Wasser, von welchem es in frischem, waldfeuchtem Zustand mehr als 50% und nach dem Trocknen an der Luft immer noch etwa 20% enthält. Diese verschiedenen Umstände wirken sich zusammen dahin aus, daß der Heizwert nicht groß ist und für 1 kg lufttrocknes Holz durchschnittlich nur 3000 Kalorien ausmacht. Abgesehen von waldreichen, entlegenen Gegenden ist das Holz zu wertvoll, um als allgemeines Brennmaterial zu dienen, und bleibt besser anderen Verwendungen vorbehalten. Die Holzasche enthält reichliche Mengen von Pottasche, die man früher unter Aufopferung von Wäldern daraus gewann, heute jedoch viel wirtschaftlicher aus Salzen der Kaliindustrie herstellt.

Wird Holz unter Luftabschluß erhitzt, so verbrennt es nicht; es schwärzt sich, stößt Dämpfe aus und verwandelt sich in Holzkohle, in einen schwarzen, porösen Körper, der noch genau die vorherige Struktur aufweist. Dieses Kohlebrennen ist ein altes Verfahren, das im Walde selbst ausgeübt und in Meilern vorgenommen wird. Das Holz wird in Form von Scheitern zu einem Haufen zusammengestellt, dieser in der Mitte unten angezündet und unter zeitweiliger Offenhaltung von Zuglöchern mit Reisig oder Moos und darüber mit Erde bedeckt. Die Ausbeute des Verfahrens, bei dem selbstverständlich ein Teil des Holzes verbrennt, beträgt ungefähr ein Viertel vom Gewicht des angewandten Materials. Die Holzkohle besteht fast ganz aus Kohlenstoff, ergibt nur wenig Asche und liefert eine Wärmemenge von etwa 7000 Kalorien pro Kilogramm, hat demnach einen viel höheren Heizwert als das Holz selbst. Sie findet weniger als Heizstoff, sondern mehr als chemisches Mittel Verwendung, so schon seit alten Zeiten zum Erschmelzen von Eisen aus Erzen. Das Meilerverfahren arbeitet insofern, als es die auftretenden Dämpfe verloren gibt, chemisch nicht sachgemäß, und daher ist man dazu übergegangen, Verkohlungsanlagen zu bauen, bei denen man das Holz aus großen, zylindrischen, eisernen Retorten oder aus in Öfen befindlichen eisernen Wägen heraus der Destillation unterwirft. Neben der den Rückstand bildenden Holzkohle gewinnt man so Holzteer, der Terpentinöl und Kreosot liefern kann, ferner Holzessig, der auf Essigsäure und Methylalkohol verarbeitet wird,

und schließlich Holzgas, das zum Betrieb oder zur Beheizung von Verbrennungsmotoren brauchbar ist. Durch Untersuchung des Holzteers hat im Jahre 1830 Reichenbach das Paraffin entdeckt.

Die Umwandlung pflanzlicher Substanz in Kohle ist ein Vorgang, der auch in der freien Natur und hier ohne Erhitzung stattfindet. Diese Inkohlung ist eine Art Vermoderung, die sich über geologische Zeiträume erstreckt und in einer Anreicherung an Kohlenstoff und einer Verarmung an Sauerstoff besteht. Hierbei verliert die Pflanzensubstanz Wasser und spaltet Kohlensäure und Methan ab, von welchen das letztere als Sumpfgas in Sümpfen und als Grubengas in Bergwerken entweicht. Beginnende Inkohlung vollzieht sich vor unseren Augen in den Mooren, wo abgestorbene Sumpfgewächse und Heidepflanzen, sowie Bruchwald und Moose der Vertorfung anheimfallen. Der Torf ist zum Heizen verwendbar, eignet sich jedoch nur in bescheidenem Maße dazu, da er hoch wasserhaltig und sein völliges Austrocknen zu teuer ist. In frisch gestochenem Zustand birgt er annähernd 90% Wasser und nach dem Trocknen im Freien durch die Sommerhitze noch gegen 30%; die guten Sorten so getrockneten Torfs liefern ungefähr 3500 Kalorien pro Kilogramm. Die brennbare Substanz des Torfes besteht hauptsächlich aus Humus, aus denselben braunen bis schwarzen pflanzlichen Vermoderungsprodukten, die den Wald- und Wiesenboden bedecken und in der Ackererde vorhanden sind.

Bedeutend weiter vorangeschritten ist die Inkohlung bei der Braunkohle, die geologisch viel älter und aus vorweltlichen Pflanzen des Tertiärs hervorgegangen ist. Nicht selten zeigt die Braunkohle das noch völlig erhaltene Gefüge des Holzes, häufiger jedoch besitzt sie ein mehr erdiges Aussehen. Diese erdige Art ist weich und mit der Hand leicht zerbröckelbar; die Knorpelkohle ist eine festere Art, die sogar nach dem Trocknen nicht zerfällt. Die Braunkohlen lagern oft ganz nahe unter der Erdoberfläche und können dann nach Abräumen der aufsitzenden Deckschicht einfach im Tagebau gefördert werden Sie enthalten reichlich Wasser und erheblich Mineralsubstanz, so daß sich ihr Transport auf größere Entfernungen nicht verlohnt. Trotzdem sind sie zu einem wichtigen Wirtschaftsfaktor geworden, denn die Industrie, welche diese Naturschätze nicht brach liegen lassen wollte, ging der Transportfrage dadurch aus dem Wege, daß sie sich inmitten der Braunkohlenreviere ansiedelte und nun Betriebsstoff direkt aus der Umgebung schöpft. Der Heizwert der Braunkohlen ist je nach der Herkunft stark schwankend und bewegt sich etwa zwischen 2000 und 5000 Kalorien pro Kilogramm. Eine veredelte, erhöhten Heizwert besitzende Form liegt in den Braunkohlenbriketten vor, welche durch Vortrocknen in der Hitze und nachfolgendem Pressen unter Druck hergestellt werden und ihrer Handlichkeit und Sauberkeit wegen namentlich in Haushaltungen großen Absatz finden.

Manche Braunkohlen eignen sich zu einer chemischen Verarbeitung, nämlich die heller braunen Abarten, die viel Bitumen enthalten. Das Bitumen, unter welchem man auch sonst im Mineralreich vorkommende organische Substanzen wachs- oder pechartiger Konsistenz versteht, ist wohl teils aus pflanzlichen Fetten, teils aus tierischem Faulschlamm entstanden und wird in den Braunkohlenlagern bisweilen sogar in reinem Zustand angetroffen. Man gewinnt es durch Extraktion der Braunkohlen mit Lösungsmitteln, bringt es als Montanwachs in den Handel

und verwendet es zu Schuhcreme, Kabelisolierungen und Schallplatten. Weit größere Bedeutung als diese Extraktion hat die Verschwelung, eine gemäßigte Erhitzung der bituminösen Braunkohlen unter Luftabschluß, bei der unter Entwicklung von Schwelgas Teer und Schwelwasser herausdestillieren und Grudekoks hinterbleibt. Die Abb. 166 zeigt einen Schwelofen, bei dem die Braunkohle zwischen geheiztem Gemäuer C und übereinander gestülpten Glockenringen D herabrutscht

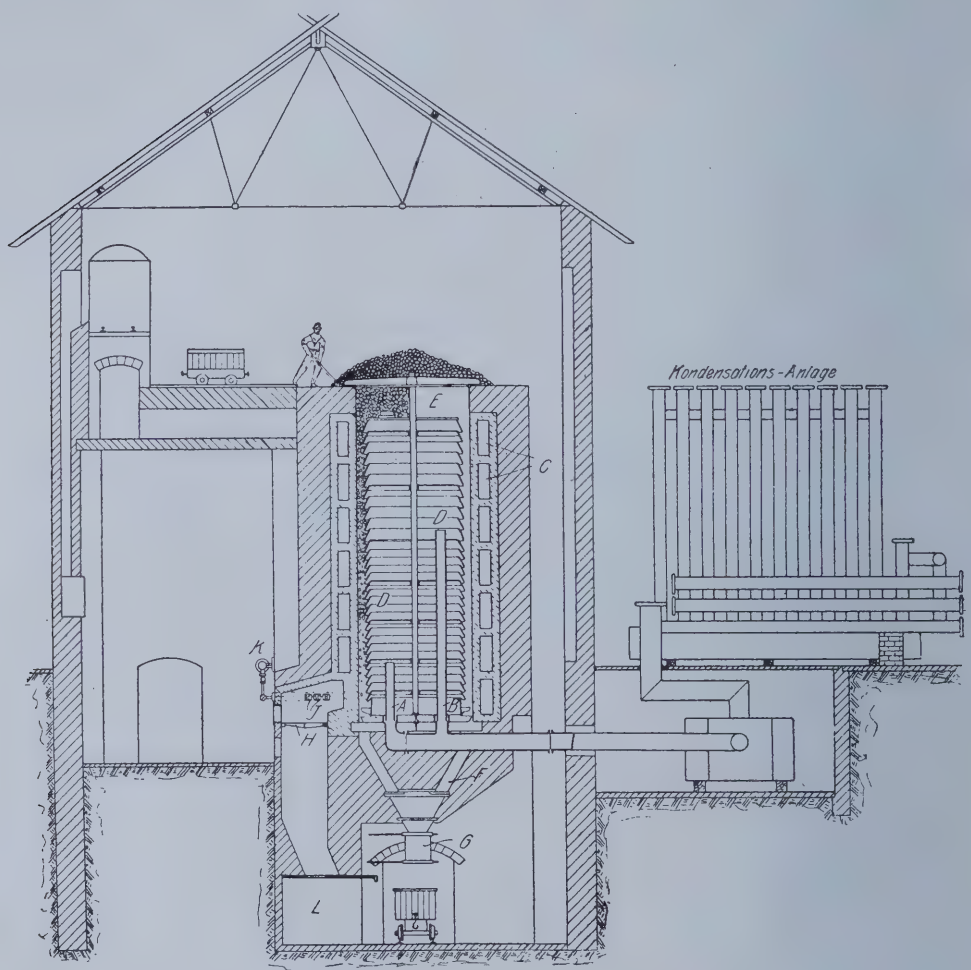
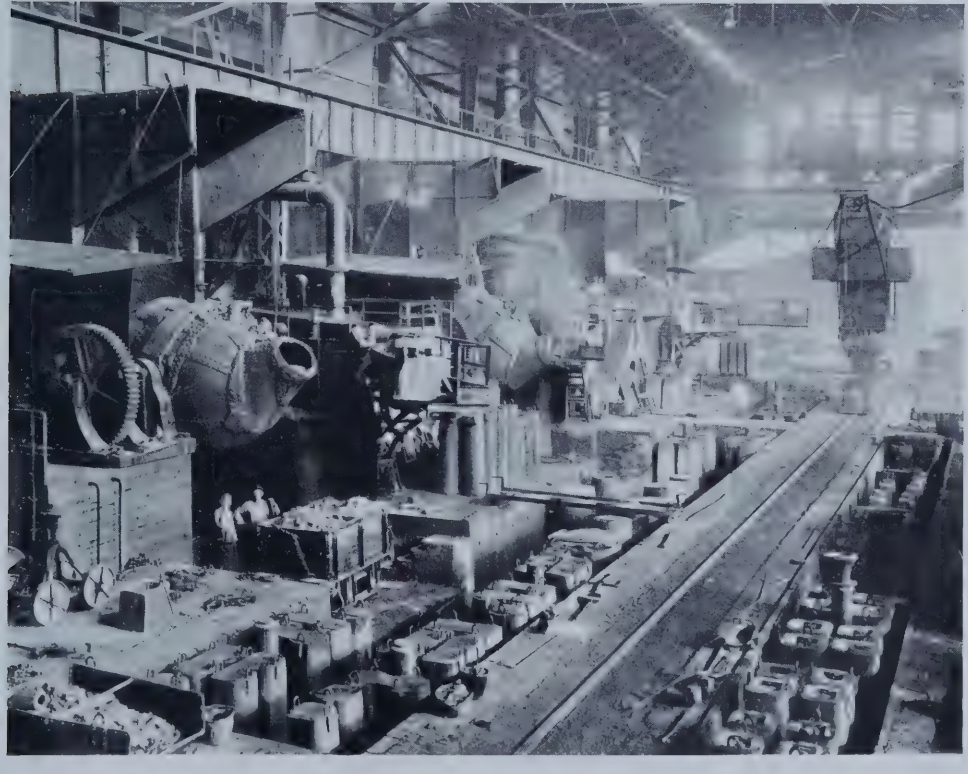


Abb. 166. Schwelofen für Braunkohle.

und die Schweldämpfe aus dem Innenraum durch die Rohre A und B einer Kondensationsanlage zugeführt werden. Der Grudekoks fällt bei G aus dem Ofen. Der sich in der Kondensationsanlage ansammelnde Teer, der reich an aliphatischen Kohlenwasserstoffen ist, ergibt bei erneuter Destillation Hart- und Weichparaffin und eine Reihe technisch wichtiger Öle, beispielsweise als Autobenzin brauchbare Leichtöle und zum Betrieb von Dieselmotoren geeignete Gasöle. Der Grudekoks ist ein beliebter, heizkräftiger, rauchloser Hausbrand, der wasserfrei ungefähr 6000 Kalorien pro Kilogramm entwickelt, aber infolge seiner lockeren, pulverigen Beschaffenheit nicht auf einem Ofenrost verfeuert werden kann, sondern einen besonderen Herd, eine Grude, erfordert.

Koferei- und Hochofenanlage im Ruhrgebiet.



Blick in ein Bessemer-Werk.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

Noch höher als bei der Braunkohle ist der Inkohlungsgrad bei der Steinkohle. Dies entspricht dem geologischen Alter, denn die Steinkohle entstammt vorwiegend der viel früheren Periode des Karbons; am weitesten umgewandelt ist der Anthrazit, der schon im Silur und Devon auftritt und bis zu 98% Kohlenstoff enthält. Die Steinkohle ist die verbreitetste und heizkräftigste Kohlenart und daher der wichtigste Brennstoff: sie entwickelt 6000—8000 Kalorien pro Kilogramm. Da sie nur in großen Tiefen vorkommt, so muß ihre Gewinnung im Bergbau geschehen, der aber stets von Gefahren umlauert ist, von welchen die schlagenden Wetter am gefürchtetsten sind. Sie rühren vom Grubengas her, das den Flözen entweicht und sich mit der Luft zu einem Knallgas vermischt; um Grubengasansammlungen und deren Explosion zu verhüten, sorgt man für gute Ventilation und beugt durch Sicherheitslampen und Sicherheitssprengstoffe Zündungsmöglichkeiten vor. Explosionen von Kohlenstaub, der, in der Luft aufgewirbelt, leicht entflammbar ist, bekämpft man durch Berieselung der Abbaue und Strecken mit Wasser.

Die Steinkohlen sind schwarz, matt- oder fettglänzend, enthalten nur wenig Wasser und liefern 5—10% Asche. Ihre Kohlensubstanz besteht außer aus Kohlenstoff noch aus Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, ferner aus Schwefel, der zum Teil auch in Form von Schwefelkies in ihnen vorhanden ist. Man beurteilt die verschiedenen Steinkohlensorten nach ihrem Verhalten beim Verkoken, d. h. beim Erhitzen unter Luftabschluß; sie geben hierbei größere oder kleinere Mengen brennbarer Gase ab und verwandeln sich in Koks von wechselnden Eigenschaften. Die Magerkohlen, zu welchen vor allem die Anthrazite gehören, hinterlassen einen sandigen Koks, liefern beim Verkoken nur wenig Gas und verbrennen daher mit kurzer Flamme ohne zu rauchen und zu rußen; von allen Kohlenarten eignen sie sich zum Verheizen am besten. Die Fettkohlen, auch Backkohlen genannt, verhalten sich anders; sie schmelzen oder backen beim Verkoken zusammen, geben unter Aufblähen sehr viel Gas ab und gehen in einen großstückigen, schwer verbrennbaren Koks über. Sie brennen mit langer, rußender Flamme und taugen wenig zu Heizzwecken, dagegen sehr gut zur Koksgewinnung und, wenn besonders reich an Gas, ausgezeichnet zur Leuchtgasbereitung.

Die aus den Gruben zutage gebrachten Kohlen gelangen entweder unmittelbar als Förderkohle oder erst nach der Auslese von Gesteinsbrocken und der Siebung auf gewünschte Korngröße als Stück-, Würfel- oder Nußkohle zum Versand. Muß der Gesteinsgehalt, wie es etwa für Kokereien erforderlich ist, möglichst niedrig sein, so folgt noch eine Wäsche, deren Wirkung auf dem rascheren Absinken der mineralischen Beimengungen im Wasser beruht. Der beim Fördern und Sortieren anfallende Grus, der für Heizzwecke zu kleinstückig ist, wird brikettiert, und zwar dadurch, daß man ihn mit Steinkohlenpech vermischt und heiß in Formen preßt. Die Steinkohlenbriketts, die gegenüber den Kohlen selbst den Vorteil haben, weniger Raum zu versperren und nicht selbstentzündlich zu sein, eignen sich insbesondere für Lokomotiven und Dampfschiffe. Eine andere, in aussichtsreicher Entwicklung begriffene Verwendung des Grases ist die zur Kohlenstaubfeuerung, bei der er, fein zermahlen, zusammen mit der erforderlichen Luft in das Heizgut hineingeblasen wird.

Eine Veredlung erfahren die Steinkohlen durch Überführung in Koks, in den Entgasungsrückstand, der bei ihrem Erhitzen unter Luftabschluß nach Austreiben der flüchtigen Kohlenzersetzungsprodukte als schwarzgrauer, fester Körper hinterbleibt. Diese als Kokerei bezeichnete Fabrikation ist eng verknüpft mit der Eisenindustrie, der sie das für den Hochofenbetrieb erforderliche Heizmaterial erzeugt.

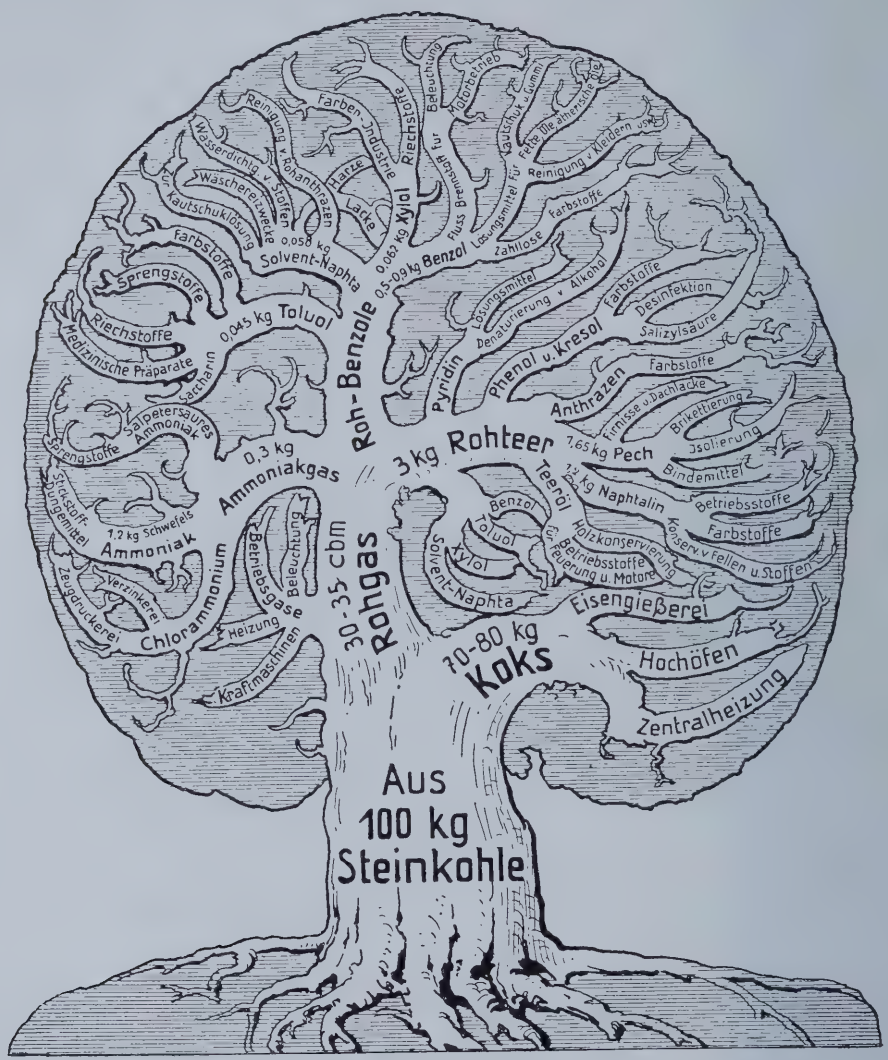


Abb. 167. Stammbaum der Steinkohlenprodukte.

Die Steinkohlen selbst sind hierfür unbrauchbar, und die Holzkohlen, die man früher allein anwandte, wurden seit über 100 Jahren mehr und mehr durch den billigen, leicht in größten Mengen beschaffbaren Koks verdrängt. Der in den Kokereien hergestellte Hüttenkoks bildet große, druckfeste, poröse, rissige Stücke, die etwas Wasser enthalten, gegen 10% Asche ergeben, rauchlos verbrennen und dabei ungefähr 7000 Kalorien pro Kilogramm entwickeln. Die zu seiner Bereitung dienenden Öfen bestehen aus einer Batterie nebeneinanderliegender, feuerfester Kammern,

die von schmaler, langgestreckter Gestalt sind und von den heizenden Feuerungsgasen umspült werden. Das Tafelbild zeigt im Vordergrund eine Kokerei und im Hintergrund Hochöfen nebst Winderhitzern. Die zerkleinerten und genäßten Kohlen, zumeist Backkohlen, werden in die Kammern eingestampft, die beim Heizen auftretenden Gase und Dämpfe durch Röhren abgeleitet und die nach eintägigem Erhitzen garen glühenden Koksmassen mit einem Stempel maschinell ausgestoßen und mit kaltem Wasser abgelöscht. Die aus den Kammern abziehenden Gase und Dämpfe, die in großen Mengen entstehen, zerlegen sich beim Abkühlen in Teer, Ammoniakwasser und Leuchtgas, so daß also die Kokereien dieselben wirtschaftlich wichtigen Produkte liefern wie die Gasfabriken. Auch Koks wird in den letzteren gewonnen; während er bei ihnen jedoch mehr die Rolle eines Nebenproduktes spielt, stellt er bei den Kokereien das Hauptprodukt dar. Der Gaskoks ist kleinstückiger, weniger fest, poröser und aschereicher. Wie vielseitig die Art der aus Steinkohlen gewinnbaren Produkte ist, veranschaulicht die Abb. 167 in Form eines Stammbaums.

Bei der Verwendung als Brennmaterial bedürfen Koks, Kohlen und die sonstigen festen Heizstoffe, um sich überhaupt zu entzünden, einer Erhitzung auf bestimmte Temperatur. In einer Feuerung, die richtig im Zuge ist, bestreicht der von der untersten Brennschicht aufsteigende heiße Gasstrom die höheren Schichten und heizt sie so hoch an, daß sie auf die Entzündungstemperatur gelangen und nun ihrerseits verbrennen. Bei mangelhaftem Zug wird die Entzündungstemperatur nicht erreicht und das Feuer erlischt; sie liegt z. B. beim Koks sehr hoch und beim Holz ziemlich niedrig, und daher ist letzteres leichter verbrennlich als ersterer. Mit einem Zündhölzchen kann man leicht wohl einen Holzspan anzünden, nicht aber ein Koksstückchen, denn die Zündholzflamme liefert zu wenig Wärme, um den Koks auf die Entzündungstemperatur zu bringen. Wie die festen, so zeigen auch die flüssigen Brennstoffe eine Entzündungstemperatur; ihre Verheizung muß aber nach anderen Gesichtspunkten erfolgen, da bei ihnen Benützung eines Ofenrostes ausgeschlossen ist. Sie werden in der Weise verheizt, daß man sie aus einem Zerstäuber in feinsten Tröpfchen in den Feuerungsraum einbläst. Da, wo es sich um Krafterzeugung handelt, ermöglichen die flüssigen Brennstoffe, den Umweg über Heizanlage, Kessel und Dampfmaschine zu umgehen. Dies geschieht durch die Verwendung von Öl- und Benzinmotoren, die, wirtschaftlicher arbeitend, auf kürzestem Weg chemische Energie in mechanische verwandeln. Die bei der Verbrennung des Ölstaubs oder bei der Explosion von Benzindampf entstehenden Gase sind es, welche diese Maschinen in Gang setzen.

Ist die Kohle der feste, so ist das Erdöl der flüssige, von der Natur dargebotene Heizstoff. Im Mineralreich weit verbreitet, kommt es in einigen Gegenden in besonders reichem Maße vor; aber, obwohl schon im Altertum bekannt und angewandt, ist es zu einem Eckpfeiler der Industrie erst im vorigen Jahrhundert geworden. Im Jahre 1859 wurde in Pennsylvanien die erste große Ölquelle erbohrt und die erste fabrikmäßige Raffinerie errichtet und damit der Grundstein zur amerikanischen Ölindustrie, die sich sehr rasch entwickelte, gelegt. Bald darauf kam die Ausbeutung des altbekannten kaukasischen Ölfeldes und späterhin die der Funde in anderen Ländern hinzu, und heute ist im Erdöl eines der begehrtesten

Naturprodukte zu erblicken. Da das Erdöl im Erdinnern lagert, muß es durch Bohrung erschlossen und nachher, wenn es durch das Bohrloch nicht mehr von allein herausſprudelt, durch Schöpf- oder Pumpanlagen gefördert werden. Die Ansichten darüber, wie und woraus es in der Tiefe entstanden ist, sind geteilt, doch herrscht auf Grund der Versuche von Engler, der durch Druckdestillation von Fischtran künstliches Erdöl darstellte, die Anschauung vor, daß es sich aus den Fett- und Wachsstoffen abgestorbener pflanzlicher und tierischer Wasserlebewesen im Laufe sehr langer Zeiträume durch Erddruck und Erdwärme gebildet habe.

Das rohe Erdöl, das Rohpetroleum, ist eine unangenehm riechende, gelbe bis schwarze, mit Wasser nicht mischbare Flüssigkeit, die zur Hauptsache aus Kohlenwasserstoffen, und zwar aus solchen der Fettreihe besteht. Die nordamerikanischen Erdöle setzen sich vorwiegend aus Paraffinen zusammen, während die russischen reich sind an Naphthenen und anderen nahestehenden, zyklischen Kohlenwasserstoffen; manche Öle, so die rumänischen und die von den Sundainseln, enthalten auch reichliche Mengen von Benzol und Benzolhomologen. Daneben finden sich in allen Erdölen noch ungesättigte Kohlenwasserstoffe vor, die an der Luft infolge Oxydation allmählich verharzen und aus den Erdölerzeugnissen durch eine Behandlung zuerst mit konzentrierter Schwefelsäure und hierauf mit Natronlauge beseitigt werden. Rohpetroleum dient in den Produktionsländern vielfach direkt als Heizmaterial; doch kommen hierfür nur die minderwertigen Ölsorten in Betracht, während die guten den Raffinerien zugehen und dort durch fraktionierte, d. h. stufenweise Destillation eine Zerlegung in Benzin, Leuchtpetroleum, Gasöl, Schmieröl und Paraffin erfahren.

Durch die Destillation scheidet man das rohe Erdöl zunächst in vier Hauptfraktionen, von denen die erste bis zum Siedepunkt 150° für sich aufgefangen und als Rohbenzin oder Naphtha bezeichnet wird. Das Rohbenzin wird mit Schwefelsäure und Natronlauge gereinigt und durch erneute feinere fraktionierte Destillation in folgende technische Produkte zerlegt. Petroleumäther, der von 40—70° siedet und als sogenanntes Fleckenwasser bekannt ist. Leichtbenzin, das von 60—110° siedet und für die Motoren von Autos und Flugzeugen, ferner als Waschbenzin für die chemischen Waschanstalten dient. Schwerbenzin, von 100—150° siedend, das man für Lastautos verwendet. Ligroin oder Lackbenzin, das von 100—180° siedet und bei der Bereitung von Lacken das teure Terpentinöl ersetzt.

Die zweite, von 150—300° aufgefangene Hauptfraktion des rohen Erdöls bildet das Leuchtpetroleum, das, chemisch gereinigt, zu Leuchtzwecken dient und kurzweg unter dem Namen Petroleum auf den Markt kommt. Da es schon bei geringer Erwärmung brennbare Dämpfe entwickelt, ist es leicht entzündbar; in den Lampen wird es durch den Docht aus dem Ölbehälter dem Brenner zugeführt, an dessen Ende es verdampft, um hernach zu verbrennen. Ein Petroleum, das zu leicht Dämpfe abgibt, ist sehr feuergefährlich; sein Flammpunkt, d. h. die niederste Temperatur, bei der es eben noch durch ein darüberstreichendes Flämmchen entzündet wird, ist zu niedrig. Im Handel sind deshalb nur solche Petroleumsorten zugelassen, deren Flammpunkt nicht unter 21° liegt. Sorgfältigst gereinigte und nochmals destillierte Öle, wie das Kaiseröl und das Salonöl, haben Flammpunkte, die bei 35° und noch höher liegen, und sind daher von geringer Feuergefährlichkeit.

Die dritte Hauptfraktion des rohen Erdöls, die zwischen 300 und 350° überdestilliert und für den Gebrauch als Leuchtpetroleum zu dickflüssig ist, dient unter dem Namen Gasöl zur Bereitung von Ölgas und Blaugas. Sehr stark ist sie nachgefragt als Treiböl für Diesel- oder andere Großkraftmotoren. Von großer wirtschaftlicher Bedeutung ist in neuerer Zeit das Cracken des Gasöles sowie von anderen ähnlichen Ölen geworden, eine Verarbeitung, die diese Öle chemisch umwandelt und sie zu einer weiteren ergiebigen Quelle für das wichtigste und begehrteste Erdölprodukt, für das Benzin macht. Das Verfahren besteht in einem Erhitzen oder Destillieren unter hohem Druck und beruht auf der dadurch eintretenden Zerspaltung komplizierterer Kohlenwasserstoffe in einfachere.

Die vierte Hauptfraktion, die unter vermindertem Druck mit überhitztem Wasserdampf überdestilliert, ist ein zähflüssiges Öl, welches nach dem mit Kältemaschinen bewirkten Ausfrieren von Paraffin auf Schmieröle verarbeitet wird. Außer derartigen destillierten Maschinenölen werden auch nichtdestillierte Schmieröle hergestellt; man unterbricht in diesem Fall die Destillation nach der dritten Hauptfraktion und gewinnt dann überdies noch Vaselin, das sich sowohl als Schmier- wie auch als Salbmittel bewährt hat. Das in der vierten Hauptfraktion vorhandene und durch Ausfrierenlassen abgeschiedene Paraffin wird gereinigt und in Weich- und Hartparaffin zerlegt, von welchen das erstere sehr vielseitig, das letztere hauptsächlich zu Kerzen Anwendung findet. Das, was im Kessel vom Erdöl nach beendeter Destillation noch verbleibt, bildet eine pechartige, schwarze Masse, einen künstlichen Asphalt, den man natürlichem für manche Zwecke beifügt.

Weil aus Kohlenwasserstoffen bestehend, sind das Erdöl und die Erdölerzeugnisse energiereicher als die Kohlen und besitzen Heizwerte, die sich auf rund 10000 Kalorien pro Kilogramm belaufen. Der Wasserstoffgehalt ist die Ursache dieses hohen Wertes, denn während 1 kg Kohlenstoff eine Verbrennungswärme von nur 8100 Kalorien entwickelt, liefert 1 kg Wasserstoff den über dreimal größeren Betrag von 28700 Kalorien. Der hohe Energieinhalt, die aschenlose Verbrennung und der flüssige Zustand machen insbesondere das Benzin zu einem der begehrtesten Kraftstoffe, so daß die Produktion zur Deckung der Nachfrage kaum ausreicht und auch Kohlenwasserstoffe des Steinkohlenteers hierzu herangezogen werden. Neben dem Benzin hat sich inländisches Benzol eingeführt, das nur geringfügige Abänderungen an den Motoren erfordert und keineswegs rein zu sein braucht, sondern im Gegenteil noch höhere Homologe enthalten soll, da es sonst schon bei $+6^0$ gefriert und im Winter unbrauchbar wäre. Um dem Mangel an Benzin zu steuern, hat man nach weiteren technischen Gewinnungsmöglichkeiten gesucht und ist vor allem bestrebt, es auch aus Steinkohlen herzustellen. Forschungen über die chemischen Vorgänge beim Verkoken haben gelehrt, daß die bei dem üblichen Verfahren auftretenden Dämpfe sich durch die Glühhitze zersetzen und sich zum größten Teil erst hierdurch in aromatische Verbindungen verwandeln. Wird hingegen übermäßige Erhitzung vermieden und vorsichtig bei Temperaturen unter 500° gearbeitet, so bewahren die Dämpfe ihre Zusammensetzung und enthalten nun Kohlenwasserstoffe der aliphatischen Reihe. Der anfallende Tieftemperaturteer, kurz Urteer genannt, liefert bei der Destillation Benzine, die denen aus Erdöl völlig gleichkommen. Einen anderen, weite Aussichten eröffnenden Weg schlägt das Bergius-Verfahren ein,

bei dem das Benzin synthetisch erzeugt und Wasserstoffgas bei 450° durch einen Druck von 200 Atmosphären gezwungen wird, sich mit Kohle zu Kohlenwasserstoffen zu vereinigen. Die J. G. Farbenindustrie A.-G. hat die Synthese in den letzten Jahren derart ausgebaut, daß seit kurzem künstliches Benzin in den Handel gebracht werden kann. In neuester Zeit ist Benzin wieder reichlich auf dem Markt.

In den Benzinen und anderen Heizölen ist der in ihnen chemisch gebundene und für ihren Heizwert so wesentliche Wasserstoff gewissermaßen in ein möglichst enges Gefängnis eingekapselt und daher in einer für den Gebrauch sehr handlichen und leicht transportablen Form. Seine Handhabung gestaltet sich im freien, ungebundenen Zustand viel umständlicher, da er als Gas außerordentlich raumsperrig ist. Während in 1 Liter Benzin etwa 110 g des Elementes vorhanden sind, birgt 1 Liter Wasserstoff nur 0,08 g, und man müßte dem Volumen nach 3000 mal mehr von letzterem als vom Benzin anwenden, um vergleichbare Heizwirkungen zu erzielen. Auch der Versand ist schwieriger und stellt sich, falls er in Stahlflaschen erfolgt, wie z. B. für autogenes Schweißen und Schneiden, sehr teuer. Die häufigste und einfachste Art des Transportes von gasförmigen Heizstoffen überhaupt ist der in Rohrleitungen, wie solche in Fabriken und Städten bestehen und in der Neuzeit auch über Land als Fernleitungen eingerichtet werden.

Der bekannteste aller gasförmigen Heizstoffe ist das Leuchtgas, dessen Anwendung und technische Bereitung in England um die Wende des 18. Jahrhunderts aufkam. Ursprünglich lediglich zur Beleuchtung bestimmt, ist es später mehr und mehr zum Brennmaterial geworden, und heute, wo wir über neuere, bessere Mittel zur Lichterzeugung verfügen, wird seine Güte überhaupt nicht mehr nach der Leuchtkraft, sondern nur noch nach der Heizkraft beurteilt, so daß die Bezeichnung Leuchtgas unzutreffend geworden ist. Sein Heizwert, der, wie bei allen Gasen, auf das Volumen bezogen wird, bewegt sich zwischen 4000 und 5000 Kalorien pro Kubikmeter. Das Leuchtgas, das man in den Gasfabriken aus Steinkohlen gewinnt und Reinigungsprozessen unterwirft, ist ein farbloses, ätherisch riechendes Gemisch mehrerer gasförmiger Stoffe. Nach Raumteilen gemessen, besteht es vorwiegend, und zwar zur Hälfte, aus Wasserstoff; dann folgt Methan, das nahezu ein Drittel ausmacht, ferner Kohlenoxyd, das sich zu etwa ein Zehntel findet und die Ursache der großen Giftigkeit ist. Außerdem sind noch geringe Mengen anderer, schwerer Kohlenwasserstoffe, auf denen das Leuchtvermögen beruht, zugegen, ferner kleine Mengen von nicht brennbaren Gasen, wie Stickstoff und Kohlendioxyd. Das in den Kokereien als Nebenprodukt anfallende Leuchtgas hat eine ähnliche Zusammensetzung; da Kokereien nur in den Zentren der Kohlenindustrie sitzen, während Gasfabriken sich über das ganze Land verteilen, so hat dieses Kokereigas nicht die gleiche allgemeine Bedeutung. In der letzten Zeit ist indessen vielerorts insofern eine Änderung zugunsten des letzteren eingetreten, als man Ferngasversorgung einrichtete und dadurch Gasfabriken schließen konnte.

Die Entgasung der Steinkohlen wird in den Gasfabriken in zylindrischen, feuerfesten Retorten aus Schamotte vorgenommen, die liegend oder stehend angeordnet sind und von außen mit einer Generatorfeuerung beheizt werden. Eine Neuerung sind die Kammeröfen, deren aufrecht oder schräg gebaute Kammern sich durch großes Fassungsvermögen auszeichnen und trotzdem schnell beschickt

und schnell entleert werden können. Das entstandene Gas zieht durch eine Steigleitung ab und geht durch eine Vorlage, worin es Teer und Wasser absetzt. Von hier aus tritt es in die Kühler ein, die es vollends ganz abkühlen und weiteren Teer nebst Wasser niederschlagen; dann gelangt es zum Gassauger, der es von den Retorten herausaugt und durch die nun folgenden Reinigungsapparate hindurchdrückt, und zwar zuerst durch den Teerscheider, der die letzten Reste des Teernebels herausholt. Hierauf streicht es durch einen ersten Wäscher, der Naphthalinreste mit Hilfe von Teerölen herauswäscht, sodann durch den Standardwäscher, der das Ammoniak durch verspritzendes Wasser herauslöst, und schließlich durch die Reiniger, große, flache Kästen, in welchen die aus Raseneisenerz oder sonstwie aus Eisenhydroxyden bestehende Reinigungsmasse den Schwefelwasserstoff und andere Schwefelverbindungen sowie die Blausäure herausschafft. Das gereinigte, fertige Gas wird in großen, glockenförmigen Gasbehältern, sog. Gasometern, aufgesammelt und über Druckregler hinweg durch das Leitungsnetz den Abnehmern zugeführt.

Vielfach streckt man das Leuchtgas, und zwar dadurch, daß man Wasserdampf auf den entgasten, noch glühenden Koks leitet und das hierbei entstehende Gas nun beimischt. Dieses Gas ist seiner Bildung und Zusammensetzung nach nichts anderes als Wassergas, demnach im wesentlichen ein Gemisch von Kohlenoxyd und Wasserstoff. Da der Heizwert des Wassergases nur 2500 Kalorien pro Kubikmeter beträgt, so bedeutet das Strecken des Leuchtgases eine Herabminderung der Heizkraft, die indessen, solange sie sich in mäßigen Grenzen hält, nicht zu beanstanden ist. Wassergas als solches hat nur einen halb so hohen Heizwert wie das Leuchtgas und wird deshalb für sich allein zu Heizzwecken kaum angewandt; dagegen wird es häufig zum Schweißen eiserner Materialien benützt, da seine Flamme infolge des größeren Kohlenoxydgehaltes und der geringeren Wasserdampfbildung viel heißer ist als die des Leuchtgases.

Ein anderes, ebenfalls an Kohlenoxyd reiches Gas ist das in technischen Heizanlagen ausgedehnt angewandte Generatorgas. Derartige Anlagen setzen sich aus zwei Teilen zusammen, aus dem Generator, worin das Gas erzeugt wird, und aus dem Ofen, worin es verheizt wird. Der Generator ist ein aus Schamotteziegeln gemauerter Schacht, in dem sich unten ein Rost befindet. Man füllt den Generator mit Koks in hoher Schicht, bringt diesen in Glut und vergast ihn durch von unten eingeblasene Luft, durch die Primärluft, zu Kohlenoxyd. Das abziehende, mit dem verbliebenen Luftstickstoff vermischte Kohlenoxyd bildet das Generatorgas, das man in noch heißem Zustand unter Zuführung neuer Luft, der Sekundärluft, auf möglichst kurzem Weg zum Ofen leitet und dort sofort verbrennt. Nimmt man ersparnishalber an Stelle von Koks Steinkohlen, so unterliegen diese im Generator vor eintretender Oxydation der Entgasung, und dem Generatorgas mischt sich nun noch Leuchtgas bei. Der Heizwert eines mit Kohlen bereiteten Generatorgases beläuft sich auf annähernd 1000 Kalorien pro Kubikmeter. Bläst man mit der Luft gleichzeitig Wasserdampf in den Generator, so mischt sich auch Wassergas bei und der Gehalt an brennbaren Gasen erhöht sich; die entstehende Mischung, das Mischgas, ist energiereicher und ein geschätztes Kraftgas zum Betrieb von Gasmotoren.

Ebenfalls aus Kohle und Koks hervorgehend, jedoch nicht unmittelbar daraus erzeugt, ist das aus dem Kohlenwasserstoff C_2H_2 bestehende Azetylengas. Das Material, aus dem man es bereitet, ist das Calciumkarbid CaC_2, das man aus Koks und Brantkalk in der Hitze des elektrischen Lichtbogens gemäß der Gleichung:

$$CaO + 3\,C = CaC_2 + CO$$

erschmilzt (siehe Abb. 168). Für die Azetylenentwicklung wird das Calciumkarbid in eigens dazu konstruierten Behältern mit Wasser zur Umsetzung gebracht und dann das entweichende Gas für die Beleuchtung oder zum autogenen Schweißen und Schneiden von Metallen verwendet. Das Calciumkarbid dient übrigens nicht

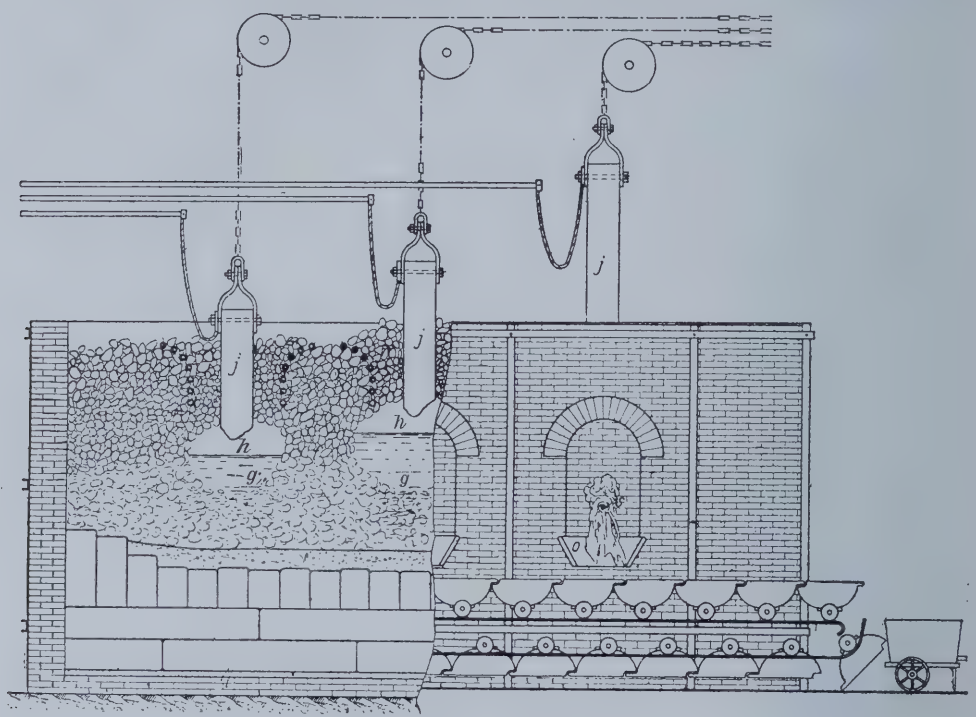


Abb. 168. Karbidofen.

nur zur Gewinnung von Azetylen, sondern auch als Ausgangsmaterial für den Kalkstickstoff, den man aus ihm mit Stickstoff in der Glühhitze herstellt. Der Kalkstickstoff besteht im wesentlichen aus Calciumzyanamid $CaCN_2$ und bildet, da er sich im Ackerboden durch Wasseraufnahme über Harnstoff in Ammoniak verwandelt, ein für die Landwirtschaft wichtiges Stickstoffdüngemittel.

In der Abb. 168 findet bei h der Übergang des Lichtbogens von der Kohlenelektrode j zum eingefüllten Material statt, das bei g zusammenschmilzt und bei o als glutflüssiges Karbid abgelassen wird.

II. Die Metalle.

Stoffe, welche schon die ältesten Kulturvölker kannten und sich nutzbar machten, sind die Metalle. Gold und Silber, die in der Natur gediegen vorkommen und daher leicht gewonnen und verarbeitet werden können, dienten längst schon in vorgeschicht-

licher Zeit zur Herstellung von Schmuck und Zierat. Als später, in der Bronzezeit und der darauffolgenden Eisenzeit, die Menschen lernten, auch aus Erzen Metalle abzuscheiden, erkannten sie deren Brauchbarkeit und verfertigten daraus Geräte und Waffen. Allmählich gesellten sich Kupfer, Blei, Zinn und Quecksilber hinzu, und die allgemeinen Erfahrungen über Bereiten und Verarbeiten von Metallen vermehrten und verbesserten sich. Sie bleiben freilich durch Jahrtausende hindurch auf einer sehr primitiven Stufe und erst im 16. Jahrhundert setzten namhafte Fortschritte ein. Es entwickelte sich die Hüttenkunde und die Metallurgie, d. h. die Lehre von den chemischen und mechanischen Vorgängen, welche bei der Abscheidung der nutzbaren Metalle aus den Erzen stattfinden. Durch chemische Forschung wurden seitdem noch viele andere metallische Stoffe entdeckt, und die Gegenwart verfügt über eine große Mannigfaltigkeit von Metallen und Legierungen zu den verschiedensten technischen Zwecken.

Das nützlichste aller Metalle ist das Eisen, ein Hauptmaterial für die Herstellung von Geräten und Maschinen, von Fahrzeugen und Bauwerken. In Hochöfen aus oxydischen Erzen in der Glühhitze erschmolzen, wird es zunächst als graues oder weißes, kohlenstoffhaltiges Roheisen erhalten. Zur Verhüttung gelangen Eisenerze, welche Oxyde sind, wie der Roteisenstein und der Magneteisenstein, oder Hydroxyde, wie der Brauneisenstein, das Bohnerz und die Minette. Sehr geschätzt ist der Spateisenstein, ein Karbonat, das durch Austreiben der Kohlensäure zu einem Oxyd und damit als solches reduzierbar wird. Das in der Natur am häufigsten vorkommende Eisenerz, der Schwefelkies oder Pyrit, der im wesentlichen aus dem Disulfid FeS_2 besteht, eignet sich zum Verhütten nicht unmittelbar; er wird zuvor in den Schwefelsäurefabriken im Luftstrom abgeröstet, und erst die hinterbleibenden Kiesabbrände, die hauptsächlich aus Eisenoxyd bestehen und zwecks Gewinnung in ihm vorhandener wertvollerer Metalle noch ausgelaugt werden, gehen in den Hochofenbetrieb.

Ein Hochofen ist, wie die Tafelabbildung veranschaulicht, ein großer, aus Schamottesteinen aufgebauter Schacht, der durch die obere Öffnung, die Gicht, mit dem Erz, dem Koks und einem Zuschlag beschickt, und dessen Inhalt durch von unten eingeblasene, heiße Luft, den Wind, in Glut versetzt wird. Der Zuschlag ist notwendig, um die Gangart des Erzes und damit auch das reduzierte Eisen zum Zusammen- und Niederschmelzen zu bringen. Er besteht bei kieselsäurereicher Gangart aus Kalkstein oder Dolomit, bei kalkreicher aus Quarz oder Granit, und ist so gewählt, daß er mit der Gangart jeweils ein leichter schmelzbares Calciumsilikat bilden kann. Auf dem Boden des Ofens sammelt sich das glühendflüssige Eisen und darüber die gleichfalls glühendflüssige, aus Gangart und Zuschlag entstandene Schlacke, die das Metall bedeckt und es vor Zurückoxydation durch den Gebläsewind schützt. Eisen und Schlacke werden getrennt voneinander durch Abstichlöcher noch flüssig abgelassen, und Beschicken und Ablassen müssen so geregelt sein, daß der Hochofen ununterbrochen dauernd im Gange bleibt. Aus der Gicht entweichen kohlenoxydreiche Abgase, welche man früher einfach ins Freie brennend ausströmen ließ, heute aber zur Erhitzung des Windes und zum Betrieb der mächtigen Gebläse verwendet. Diese Ausnützung der Gichtgase, die in so reichlicher Menge auftreten, daß sie sogar noch zu anderweitigen Kraftzwecken dienen können, bedeutet einen der größten Fortschritte der Eisenindustrie. Auch die Verwertung der Schlacken, die in denselben

Mengen wie das Eisen anfallen, ist ein wichtiger wirtschaftlicher Faktor; sie finden Verwertung als Pflastersteine und als Baumaterial in Form von Schlackensteinen und von Zement.

Weder das Roheisen noch die anderen Eisensorten, die aus ihm bereitet werden, sind chemisch reines Eisen. Sie enthalten eine Reihe von Beimengungen, welche nicht als Verunreinigungen, sondern als wesentliche Bestandteile aufzufassen sind. Diese Beimengungen sind es, welche die technischen Eigenschaften und Anwendungen des Metalles bestimmen. In Betracht kommen in erster Linie die Gehalte an Kohlenstoff, Silizium und Mangan. Ein Roheisen mit erheblichen Mengen Silizium kann 3—4% Kohlenstoff enthalten, der sich zum kleineren Teil als Eisenkarbid, Fe_3C, zum größeren jedoch als ausgeschiedener, schwarzer Graphit vorfindet. Das an und für sich silberweiße Metall sieht infolge der Gegenwart des Graphits grau aus und wird als graues Roheisen bezeichnet. Es ist ziemlich weich, mechanisch leicht bearbeitbar und dient, da es geschmolzen die Formen gut ausfüllt, als Gußeisen. Tritt der Gehalt an Silizium zurück und wächst der an Mangan, so verteilt sich der Kohlenstoff anders; er ist nun fast völlig als Karbid und kaum noch als Graphit vorhanden. Das Metall erscheint jetzt als weißes Roheisen, das härter und spröder ist und sich zur Verarbeitung auf schmiedbares Eisen eignet. Bei hohem Mangangehalt wird es zum Spiegeleisen, in welchem das Eisenkarbid in grobblättrigen, spiegelnden Kristallen sichtbar ist.

Um das Metall schmiedbar zu machen, muß man seinen Kohlenstoffgehalt erniedrigen, und zwar so weit, daß er weniger als 1,7% beträgt. Im Altertum gewann man das Schmiedeeisen unmittelbar aus den Erzen; im Mittelalter kam man wohl darauf, die Zwischenstufe des Roheisens einzuschalten; die Verfahren blieben aber ziemlich umständlich und wenig leistungsfähig. Der gewaltige Aufschwung der Eisenbereitung setzte erst in der Neuzeit ein und begann mit dem Jahr 1855, als Bessemer den Weg zur Massenproduktion fand, indem er das Metall in flüssigem Zustand entkohlte. Das Verfahren arbeitet mit großen, viele Tonnen Eisen fassenden Konvertern oder Birnen, deren Konstruktion aus der Tafel ersichtlich ist. Die Birnen sind auf der Innenwand mit einem aus kieselsäurereichem Ton bestehenden Futter ausgekleidet und besitzen am Boden Durchlochungen, durch welche Luft in das eingefüllte, vom Hochofen her noch flüssige Roheisen eingeblasen wird. Der Gebläsewind verbrennt das Silizium und Mangan und den Kohlenstoff und erzeugt dabei ohne äußere Wärmezufuhr von allein eine solche Hitze, daß das Eisen, obwohl es in dem erreichten kohlenstoffarmen Zustand einen viel höheren Schmelzpunkt hat, nicht erstarrt. Nach beendetem Blasen, das noch nicht einmal eine halbe Stunde beansprucht, wird durch Zugabe von Spiegeleisen auf die gewünschte Zusammensetzung zurückgekohlt und hierauf durch Kippen der Birne die glühendflüssige Masse in Gießpfannen ausgegossen. Das so bereitete Metall heißt je nach seinen Eigenschaften Flußeisen oder Flußstahl.

Eisen, das aus phosphatreichen Erzen stammt, enthält Phosphor und verliert diesen die technische Brauchbarkeit hindernden Bestandteil auch beim Blasen in der Bessemerbirne nicht. Ersetzt man nach der von Thomas und Gilchrist im Jahre 1878 getroffenen Neuerung das saure Futter der Birne durch ein basisches, nämlich durch gebrannten Dolomit, so verschwindet der Phosphor; er verbrennt

und geht, verbunden mit dem im Futter vorhandenen Kalk, in die Schlacke. Auf diese Weise gelingt es, auch aus den früher mißachteten Erzen hochwertiges Eisen zu gewinnen, und heute sind sie umgekehrt um so geschätzter, je höher ihr Phosphorgehalt ist. Dazu kommt noch, daß die anfallende Thomasschlacke ein für die Landwirtschaft wertvolles Nebenprodukt darstellt, denn dank ihres hohen Phosphatgehalts ist sie ein begehrtes Düngemittel. Beigefügt sei, daß sich in weniger großer Produktion Flußeisen auch ohne Konverter bereiten läßt. So arbeitet das Siemens-Martin-Verfahren mit einem Herd, in dem sich das Schmelzgut befindet und der von außen mit Generatorgas beheizt wird. Der Herd ist mit einem basischen Futter ausgekleidet und daher ebenfalls für phosphorhaltiges Roheisen geeignet.

Schmiedbares Eisen, das mehr als 0,5% Kohlenstoff enthält, ist härtbar und wird Stahl genannt. Das Härten geschieht durch Erhitzen des zuvor zugerichteten Werkstücks und nachfolgendes Abschrecken desselben mit kaltem Wasser. Die Edelstähle sind Legierungen mit gewissen anderen Metallen. Der Wolframstahl ist eine Legierung mit Wolfram und Chrom und hat gegenüber dem gewöhnlichen den Vorzug, seine Härte auch beim Wiedererhitzen nicht einzubüßen. Große Bedeutung haben die Nickelstähle erlangt; sie sind nicht nur sehr zähe, fest und hart, sondern zeichnen sich überdies durch Rostbeständigkeit aus. Aus Nickelchromstählen werden beispielsweise Panzerplatten, Geschützrohre und Stahlhelme gemacht.

Wie das Eisen, so ist noch ein zweites Metall ein Wahrzeichen der modernen Technik. Dies ist das Kupfer das in ungeheuren Mengen in unserem Zeitalter der Elektrizität zu Leitungen, Kabeln und elektrischen Maschinen verwendet wird. Es kommt gediegen in der Natur vor, und besonders große Lager hat man am Oberen See in Nordamerika angetroffen; jedoch kannte auch schon die Alte Welt ergiebige Fundstätten, und so holten sich die Römer das Metall von der Insel Zypern, von der sich sein Name ableitet. Für die industrielle Nachfrage fallen derartige Vorkommen nicht ins Gewicht, und der Bedarf muß durch Verhütten von Erzen gedeckt werden. Das verbreitetste derselben ist der Kupferkies, ein sulfidisches Erz, in welchem entsprechend der Formel $CuFeS_2$ das Kupfer sich gemeinsam mit Eisen an den Schwefel bindet. Man röstet ihn unvollständig ab, verschmilzt ihn alsdann mit Koks und Zuschlägen und gewinnt so den an Schwefelkupfer reichen Kupferstein, den man in einem Konverter auf Metall verbläst. Außer aus weiteren Erzen wird Kupfer vielfach aus den Kiesabbränden hergestellt, die in den Schwefelsäurefabriken anfallen und erheblich kupferhaltig sind, wenn zum Abrösten kupferführende Schwefelkiese, wie etwa Pyrite vom Rio-Tinto, dienen. Erze, die metallarm und sehr fein in Gestein eingesprengt sind, werden behufs Anreicherung einer Vorbehandlung nach dem Schwimmverfahren, einer Flotation, unterworfen. Man verrührt das naß zerkleinerte Erz mit Wasser und etwas Holzteeröl und bringt das trübe Gemenge durch Einblasen von Luft zum Schäumen. Während die taube Gangart zu Boden sinkt, geht der Erzstaub in den aufschwimmenden Ölschaum, den man oben überfließen läßt und nach den Abpressen des Öls zu verhüttbarem Material trocknet und chemisch weiter verarbeitet. Das Flotationsverfahren dient zur Aufbereitung nicht nur von Kupfererzen sondern auch von anderen Mineralien.

Das rohe Kupfer enthält noch eine Reihe von Fremdstoffen, die seine Qualität herabdrücken und auf elektrochemischem Weg entfernt werden. Man hängt das

Rohkupfer in eine angesäuerte Kupfervitriollösung als Anodenplatte und ihm gegenüber ein dünnes Blech aus schon gereinigtem Metall als Kathodenplatte. Der durchfließende elektrische Strom löst das die Anode bildende Rohkupfer auf und schlägt das reine Metall auf der Kathode nieder, das also lediglich ein Umlösen durchzumachen hat. Das Produkt, das einen sehr hohen Reinheitsgrad besitzt, kommt als Elektrolytkupfer in den Handel. Die Fremdstoffe des Rohkupfers, soweit sie nicht in Lösung gehen und im Bad verbleiben, fallen als Anodenschlamm zu Boden, der Silber und Gold enthält und auf Edelmetalle verarbeitet wird.

Das reine Kupfer ist ein rotes Metall, das chemischen Angriffen viel größeren Widerstand entgegensetzt als das Eisen. Im Freien oxydiert es sich unter dem Einfluß der Feuchtigkeit und Kohlensäure allmählich zu basischem Kupferkarbonat, das als schöner, grüner Überzug auftritt und an Kunstgegenständen und Dächern sich als Edelrost oder Patina hoher Wertschätzung erfreut. Das Kupfer ist ein guter Leiter der Wärme und daher findet es ausgedehnte Anwendung zu Pfannen und Kesseln, zu Dampfleitungen, Heiz- und Kühlanlagen. Den größten Bedarf hat die Elektrotechnik, der das vorzügliche elektrische Leitvermögen des Metalls sehr zustatten kommt.

Noch größer als der Verbrauch an reinem Kupfer ist der an legiertem. Die Bronzen sind Legierungen mit Zinn, das ihnen größere Härte und Festigkeit verleiht und die Gießbarkeit erleichtert. Zumeist sind ihnen noch andere Metalle beigefügt; so enthält die Glockenbronze noch Blei und die Kunstbronze überdies noch Zink. Wie das Kupfer selbst überziehen sich im Freien auch die Bronzen mit grüner Patina. Von weiteren Legierungen ist vor allem das Messing hervorzuheben, das als gewöhnliches Messing oder Gelbguß aus Kupfer und reichlich Zink besteht, als Rotguß oder Tombak weniger Zink, dafür aber etwas Zinn enthält. Durch Zusatz von Eisen wird das Messing schmiedbar, wie dies Muntzmetall und Deltametall beweisen.

Der neben Kupfer zur Bronzebereitung erforderliche Bestandteil, das Zinn, ist ein silberweißes, sehr leicht schmelzbares Metall, das schon den ältesten Völkern bekannt war und von ihnen für weißes Blei angesehen wurde. In der Natur wird es hauptsächlich in Form des Oxydes als Zinnstein, SnO_2, angetroffen, aus dem man es einfach durch Reduktion im Kohlenfeuer ausschmilzt. Viel Zinn stammt aus England, von wo schon die Phönizier es sich herbeiholten; die Hauptmengen kommen jedoch von fernen Ländern, von Malakka und Banka, von China und Bolivia. Das Zinn ist weich und dehnbar, so daß es sich zu papierdünnen Blättern, zu Stanniol, auswalzen läßt. Gegen chemische Einwirkungen zeigt es sich ziemlich widerstandsfähig und eignet sich daher zur Verfertigung von Eß- und Trinkgeschirr, ferner als Schutzschicht auf Eisen, das in diesem verzinnten Zustand als Weißblech vor allem zu Konservenbüchsen große Anwendung findet. Mit Blei bildet es niedrigschmelzende Legierungen, die teils als Schnellot für Klempnerzwecke, teils zur Herstellung von Zinnsoldaten und Orgelpfeifen dienen. Merkwürdigerweise ist der metallische Charakter des Zinns von der Temperatur abhängig; unterhalb 18^0 verwandelt es sich in ein graues, nichtmetallisches Pulver, und infolgedessen können an Zinngegenständen, die lange Zeit hindurch der Winterkälte ausgesetzt sind, scheinbar ohne Ursache graue, beulenförmige Wucherungen auftreten, denen

sie unter Umständen ganz zum Opfer fallen. Diese Zinnpest läßt sich, wie wenn sie eine Infektionskrankheit wäre, an gesundem kalt gehaltenem Metall durch Einimpfen von grauem krankem künstlich hervorrufen.

Ähnlich dem Zinn ist auch das Blei, ein leicht schmelzbares Metall. Das wichtigste Bleierz ist das Sulfid, der Bleiglanz, PbS, dem man durch Schmelzen mit Eisen den Schwefel entzieht. Nach anderen, vorteilhafteren Verfahren wird das Erz zuerst geröstet und dann das entstehende Bleioxyd entweder durch Kohle oder durch Bleiglanz selbst zum Metall reduziert. Das Produkt ist das sehr unreine Werkblei, das noch viele andere Metalle enthält und von diesen dadurch befreit wird, daß man es zum Schmelzen erhitzt und Luft über die flüssige Masse bläst. Die Luft führt die Verunreinigungen in Oxyde über, die sich an der Oberfläche ansammeln und abgestrichen werden. Das so gewonnene Weichblei ist ein weiches und dehnbares Metall von blaugrauer Farbe, das auf frischer Schnittfläche stark glänzt, aber an der Luft infolge Oxydation bald matt wird. Sein hohes spezifisches Gewicht macht es geeignet zu Geschossen und seine Beständigkeit gegen Schwefelsäure geeignet zu chemischem Gerät. Das Hartblei ist eine Legierung mit Antimon, welches die Härte und die Gießbarkeit erhöht; durch einen Zusatz von Zinn wird es zu dem im graphischen Gewerbe verwendeten Letternmetall. Das Arbeiten mit Blei und seinen Verbindungen erfordert Vorsicht, denn bei dauernder Einwirkung rufen sie schwere, chronische Vergiftungen hervor.

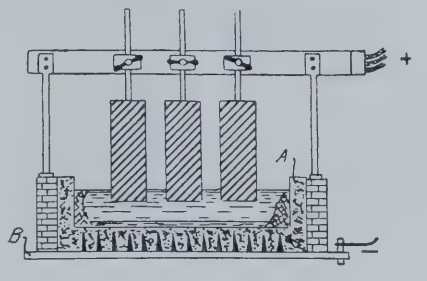


Abb. 169.

Ein weiteres wichtiges Metall ist das Zink. Dem Altertum noch völlig fremd, obgleich bereits Messing herstellbar war, wurde das Zink erst im Mittelalter bekannt und sogar erst im 18. Jahrhundert Gegenstand der Verhüttung. Die für die Metallabscheidung vorwiegend benützten Erze sind einerseits die Zinkblende, ZnS, und andererseits der Galmei, $ZnCO_3$, die man beide in Zinkoxyd überführt, den ersteren durch Rösten, den letzteren durch Brennen; das Oxyd wird durch Kohle reduziert und gleichzeitig das entstandene Metall aus dem Ofen abdestilliert. Gereinigt bildet das Zink ein bläulichweißes Metall, das bei Temperaturen zwischen 100 und 150° sich leicht zu Blech auswalzen oder zu Draht ziehen läßt, bei anderen Temperaturen aber sehr spröde ist. Es dient zum Verzinken des Eisens, das es am Rosten hindern soll, ferner zur Herstellung zahlreicher Geräte und vielerlei Legierungen.

Durchaus ein Kind der Neuzeit ist das Aluminium, das Silber aus Lehm, jenes glänzendweiße, sich durch Leichtigkeit auszeichnende Erdmetall. Von Wöhler 1827 erstmal wissenschaftlich und von Sainte-Claire Deville auf Veranlassung Napoleons III. 1854 versuchsweise technisch dargestellt, wurde es, als mit dem Aufschwung der Elektrotechnik reichlichst Strom zur Verfügung stand, zu Ende des Jahrhunderts Industrieprodukt. Man bereitet es nach dem Verfahren von Héroult in der Weise, daß man eine Lösung von Tonerde, Al_2O_3, in geschmolzenem Kryolith zwischen Kohlenelektroden durch den Strom zersetzt und in dem Maße, wie sich an der Kathode das Metall ausscheidet, neue Mengen von

Tonerde hinzugibt (siehe Abb. 169). Die erforderliche Tonerde muß sehr rein sein und wird aus dem Bauxit, ein ihr Hydrat bildendes Mineral, gewonnen; sie auch aus Ton oder Lehm herauszuholen, ist selbstverständlich möglich, aber gegenwärtig noch zu teuer. Das Aluminium ist in kurzer Zeit zu einem der nützlichsten Metalle geworden, das insbesondere da, wo auf geringes Gewicht Wert gelegt wird, wie etwa bei Luftschiffen und Fahrzeugen, das berufene Material ist. Ein noch geringeres spezifisches Gewicht als es selbst haben seine Legierungen mit Magnesium, so das Magnalium sowie das noch Kupfer und Zink enthaltende Elektronleichtmetall, das mit einer großen Wetterbeständigkeit hohe Zugfestigkeit verbindet, sich mechanisch gut bearbeiten läßt und daher den Bau sehr leichter Maschinen ermöglicht. Eine chemische Verwendung findet das Aluminium im Thermit, ein feinpulveriges Gemenge mit Eisenoxyd, welches, entzündet, sich zu Tonerde und Eisen umsetzt und dabei die außerordentlich hohe Temperatur von rund 3000° entwickelt. Man macht von dieser Eigenschaft Gebrauch, um Straßenbahnschienen und anderes Material miteinander zu verschweißen.

Eng mit der Gewinnung der Schwermetalle Blei und Kupfer ist, da deren Erze meistens silberhaltig sind, die des Edelmetalls Silber verknüpft. Die wichtigsten Silbererze sind Sulfide, wie der Silberglanz, das Rotgültig- und das Fahlerz. Entweder werden sie gemeinsam mit Kupfererzen auf silberhaltiges Rohkupfer verarbeitet, das dann bei der elektrolytischen Reinigung das Silber liefert, oder aber werden sie nach dem schon alten Verfahren mit Bleierzen vermischt und in silberhaltiges Werkblei übergeführt. Das Werkblei enthält, auch wenn es aus Bleiglanz allein stammt, stets ohnehin schon Silber, dessen Gesamtmenge nun durch Abtreiben oder Kupellation abgeschieden wird. Man schmilzt auf dem offenen Treibherd das Blei bis zur Glut, bläst Luft darauf und läßt das entstehende Oxyd, die Bleiglätte, auf der Seite ablaufen, bis schließlich der Silberblick durchbricht, d. h. bis das verbleibende Silber als glühendflüssiger Regulus blank und glänzend hervorstrahlt. Das modernste Verfahren zur Gewinnung des Silbers aus den Erzen ist die in Amerika und Australien angewandte Zyanidlaugerei, die sich zuerst beim Gold bewährte und seit Beginn dieses Jahrhunderts mit Erfolg auch auf das Silber übertragen wurde. Die in Pochwerken fein zerkleinerten Erze werden mit einer Lösung von Zyannatrium behandelt, welches sie in ein sich auflösendes, komplexes Silbersalz, in Natriumsilberzyanid $Na[Ag(CN)_2]$ verwandelt; aus der vom extrahierten Rückstand abfließenden Zyanidlauge schlägt man das Metall durch blanke Zinkspäne nieder.

Das Feinsilber, sei es auf diese oder jene Art gewonnen, ist stets goldhaltig und birgt häufig auch noch Reste von Kupfer. Zur weiteren Reinigung wird es elektrochemisch umgelöst; man gießt aus ihm Platten, welche man als Anode in verdünnte Salpetersäure einhängt und schlägt das Metall auf aus reinem Silber bestehenden Kathoden nieder. Das Gold geht in den Anodenschlamm, der sorgfältig aufgesammelt und geschieden wird.

Das Silber ist das weißeste Metall. Es zeigt höchstens Metallglanz und außerordentliche Dehnbarkeit und besitzt von allen Metallen das größte Leitvermögen für Elektrizität. Luft greift es sogar in der Glühhitze nicht an; wohl nimmt es in geschmolzenem Zustand Sauerstoff auf, den es jedoch nicht chemisch bindet, sondern

nur löst und beim Wiedererstarren unter heftiger Ausschleuderung noch flüssiger Teile, unter Spratzen, wieder abgibt. Die Hauptanwendung findet das Silber im Kunstgewerbe und insbesondere im Münzwesen, für welchen Zweck es mit Kupfer legiert wird, da es sonst zu weich wäre. Vielfach sind Silbergeräte nur versilbert und bestehen aus Kupfer oder Messing, auf denen aus einer Silbercyanidlösung elektrolytisch das Edelmetall niedergeschlagen ist; sind sie plattiert, so ist mechanisch das Edelmetall bei Rotglut aufgewalzt. Das viel benützte Neusilber hat chemisch mit Silber nichts zu tun und ist nur eine ähnlich aussehende Legierung des Kupfers mit Nickel und Zink.

Bedeutend edler noch als Silber ist das Gold. Wird das erstere noch von Salpetersäure gelöst, so bedarf das letztere schon des Königswassers, um in Lösung zu gehen. Das Gold kommt in der Natur zumeist gediegen und in feiner Einsprengung in Quarzgängen vor. Mit der Verwitterung des Gesteins gelangt es in den Flußsand, worin man es in Form von Staub oder Körnchen, mitunter auch als größeren Klumpen antrifft. Das alte Verfahren der Goldwäscherei, bei der das Metall aus dem Sand auf mechanischem Weg herausgeschlemmt wird, ist nur noch von untergeordneter Bedeutung. Das heutige chemische Verfahren besteht darin, daß man vom Gestein selbst ausgeht und dieses unter Zugabe von Wasser und Quecksilber fein zermahlt. Das Gold wird durch Amalgamierung vom Quecksilber aufgenommen, allerdings nicht restlos, und deshalb läßt man das ausgediente schlammige Wasser nicht weglaufen, sondern leitet es noch über verquecksilberte Kupferplatten, die weiteres Edelmetall abfangen. Alles Amalgam wird vereinigt und in Retorten erhitzt, wobei das Quecksilber überdestilliert und zurückgewonnen wird, während ein stark silberhaltiges Retortengold hinterbleibt, das, zu Barren gegossen, in die Scheideanstalt geht. Das Amalgamierverfahren löst trotz bester Einrichtungen nicht alles Gold aus dem Schlamm heraus, und daher wird dieser noch der Extraktion mit einer Zyannatriumlauge unterworfen. Die Zyanidlaugerei, die von McArthur und Forrest 1886 erfunden wurde und sich sofort äußerst erfolgreich erwies, bringt das Edelmetall als komplexes Goldsalz, als Natriumaurozyanid $Na[Au(CN)]_2$ in Lösung. Aus der Lauge fällt man das Gold durch Zinkspäne oder Zinkstaub aus, entfernt aus dem Niederschlag Zinkreste mit Schwefelsäure, schmilzt das Metall zusammen und gießt es in Barren, die gleichfalls zur Scheideanstalt wandern. Das Zyanidverfahren beherrscht heute die Goldgewinnung und kann auch unmittelbar ohne vorausgehende Quecksilberbehandlung durchgeführt werden.

Die Abtrennung des reinen Golds vom Rohgold erfolgt gegenwärtig hauptsächlich elektrolytisch. Zunächst holt man das Silber auf dem bei diesem Metall angegebenen Weg heraus und verschmilzt den dabei sich absetzenden Anodenschlamm zu Platten, von denen man in einem Goldchloridbad das Metall durch den elektrischen Strom löst und auf einer Goldkathode niederschlägt. Das reine Gold ist ein gelbes Metall mit hohem Glanz und größter Dehnbarkeit, das sich zu feinsten Blättchen, zu Blattgold, auswalzen läßt. Da seine Härte nur gering ist, wird es legiert angewandt. Goldmünzen bestehen aus einer Legierung mit Kupfer, Schmucksachen aus einer solchen, die überdies Silber enthält. Blattgold dient zum Vergolden von Holz und anderen nichtmetallischen Gegenständen, während Metallwaren elektrolytisch vergoldet werden.

Ein Edelmetall, das, früher verkannt, heute größten Wert hat, ist das **Platin**. In Kolumbien schon länger bemerkt und als wertloser Begleiter mit platina, dem Diminutiv des spanischen Wortes plata für Silber, bezeichnet, wurde es erstmals 1735 beschrieben. Im Jahre 1819 wurde das Vorkommen von Platin im Ural entdeckt, und seitdem traten die südamerikanischen Fundorte völlig in den Hintergrund. Man findet es in der Regel gediegen, und zwar legiert mit den anderen Platinmetallen Iridium, Rhodium, Palladium, Osmium und Ruthenium. Die Scheidung geschieht durch Auflösen in Königswasser und Ausfällen mit Salmiak; der gelbe Niederschlag, der Platinsalmiak $(NH_4)_2[PtCl_6]$ ist, liefert beim Glühen das Metall. Das reine Platin ist grauweiß, streckbar, fester als Gold und schmilzt erst bei einem sehr viel höheren Hitzegrad. Dank seines hohen Schmelzpunkts und seiner chemischen Widerstandsfähigkeit bildet es das unentbehrliche und unersetzliche Gerätemetall für den Chemiker. Es hat Eingang in die Elektrotechnik und Zahntechnik gefunden; die Hauptmengen werden von der Bijouterie verbraucht, die daraus Fassungen für Brillanten, Ketten und andere Schmucksachen verfertigt.

III. Die Silikate.

Obwohl der Erdball, so weit er dem Menschen zugänglich ist, Erze und Kohlen in reichem Maße beherbergt, so machen diese doch nur einen kleinen Bruchteil aus. Die feste Erdoberfläche hat im großen ganzen eine durchaus andere chemische Zusammensetzung; sie baut sich vorzugsweise aus Verbindungen des Sauerstoffs auf, und ihr Gehalt an diesem Element beträgt im Durchschnitt annähernd die Hälfte. Das Hauptelement, an das der Sauerstoff sich bindet, ist das Silizium, aus dem die Erdrinde zu mehr als ein Viertel besteht. Bis weit ins Erdinnere hinab und bis ins höchste Gebirge hinauf ist das Siliziumdioxyd SiO_2 gesteinsbildende Grundsubstanz, die sich entweder unmittelbar als Quarz oder, verbunden mit Basen, als kieselsaures Salz, als Silikat, darbietet. Felsen und Steine und deren Verwitterungsprodukte gehören zu den ursprünglichsten Materialien, die die Menschheit sich zunutze machte, und schon seit alters schmilzt man aus Quarzsand Glas und brennt aus Ton Ziegel und Gefäße. Die Anwendung der Siliziumverbindungen reicht bis in die vorgeschichtliche Zeit zurück, denn der Feuerstein, aus dem der Mensch der Steinzeit sich mit Schwefelkies Feuer schlug und sich Messer, Beile und Pfeilspitzen verfertigte, ist ein wasserhaltiger Quarz.

Das **Glas**, dessen Bereitung schon die alten Ägypter und die Phönizier verstanden, ist ein durch und durch gleichmäßiges Gemenge mehrerer Silikate, das aus glühender Schmelze durchsichtig und amorph erstarrt ist. Scheiden sich aus dem Schmelzfluß Bestandteile kristallisiert aus, so hat die erstarrte Masse trübes Aussehen und nicht mehr die Eigenschaften des Glases. Die Unterdrückung des Kristallisierens wird durch die Wahl der chemischen Zusammensetzung erreicht und namentlich durch die Gegenwart der neben dem Calciumsilikat vorhandenen Alkalisilikate bewirkt. Wieder erhitzt, erweicht das Glas in der Rotglut und gelangt in einen zähflüssigen Zustand, in welchem es formbar ist und gebogen und gezogen werden kann. Die Schmelzbarkeit wird mit zunehmendem Gehalt an Siliciumdioxyd erschwert; während das gewöhnliche Glas sich noch im Kohlenfeuer schmelzen

läßt, erfordert das baſenfreie Material, der Quarz, elektriſche Öfen. Geräte, die aus reinem Quarzglas verfertigt ſind, vertragen eine viel höhere Temperatur ohne zu ſchmelzen, und zeichnen ſich gegenüber ſolchen aus gewöhnlichem Glas überdies dadurch aus, daß ſie beim Erhitzen nicht zum Zerſpringen neigen, ferner beſonders dadurch, daß ſie chemiſch äußerſt widerſtandsfähig ſind.

Die Glasbereitung erfordert dreierlei Rohſtoffe, einmal zur Beſchaffung der Kieſelſäure Quarzſand, dann zur Einführung des Alkalis Soda, Pottaſche oder Glauberſalz und ſchließlich zur Einverleibung des Erdalkalis Kalkſtein, Marmor oder Kreide. Die innige Miſchung der fein gemahlenen Rohſtoffe wird in mit Generatorgas beheizten Häfen aus feuerfeſtem Ton eingeſchmolzen und die Schmelze hernach zwecks Läuterung auf Weißglut ſo hoch erhitzt, daß ſie dünnflüſſig wird und alle Glasbläschen und Ungleichmäßigkeiten verliert. Aus der geſchmolzenen Maſſe werden durch Gießen Spiegelſcheiben, durch Blaſen in Formen Flaſchen und anderes Hohlglas und durch Ziehen Stäbe und Röhren verfertigt. Gewöhnliche Scheiben ſtellt man aus geblaſenen langen Hohlzylindern her, die man in der Längsrichtung aufſchneidet und dann auf einer erhitzten Tonplatte ausbreitet und zu einer Tafel ebnet. Für den gewaltigen Bedarf an Getränkeflaſchen, dem der überkommene Handbetrieb nicht mehr gewachſen iſt, hat man Blasmaſchinen konſtruiert, die ſelbſttätig das flüſſige Glas ſchöpfen und Hunderte von Flaſchen in der Stunde liefern. Das geformte, noch heiße Material wird, damit ſeine Hitze nur äußerſt langſam abſinkt, in einen Kühlofen oder Kühlkanal gebracht und erreicht erſt hierdurch den gebrauchsfertigen Zuſtand. Ohne dieſe Vorſichtsmaßregel würden infolge raſcher Abkühlung Spannungen in der Glasſubſtanz auftreten, welche verurſachten, daß der Gegenſtand ſchon beim geringſten Anlaß oder vielleicht auch ſchon von allein plötzlich zerſpränge.

Die Glasmaſſen ſind je nach ihrer Verwendung von wechſelnder chemiſcher Zuſammenſetzung und erhalten Zuſätze, welche für ihre Farbe und ſonſtigen optiſchen Eigenſchaften von beſtimmendem Einfluß ſind. Das gewöhnliche farbloſe Glas, das ohne einen ſolchen Zuſatz grün wäre, iſt durch Beifügen von Braunſtein, der ſogenannten Glasſeife, entfärbt; die Wirkung des Braunſteins beruht im weſentlichen darauf, daß er in der ſchmelzenden Glasmaſſe, die ſtets durch Eiſenverbindungen verunreinigt iſt, das intenſiv grüne Ferroſilikat zu wenig färbendem Ferriſilikat oxydiert. Undurchſichtiges Glas von der Art des Milchglaſes hat einen Zuſatz eines Trübungsmittels, das ſich in der Glasſubſtanz in Form feiner Tröpfchen oder Kriſtällchen ausſcheidet und zumeiſt aus Knochenaſche, für feinere Zwecke jedoch aus Kryolith beſteht. Mattierte Gläſer werden anders, nämlich durch Aufrauhen der Oberfläche im Sandſtrahlgebläſe oder durch Ätzen mit Flußſäure hergeſtellt. Farbiges Glas hat einen Zuſatz von Metalloxyden; ſo ergibt Chromoxyd ein gelbes und Kupferoxyd ein blaues Grün. Kobaltoxydul erzeugt ſchon in geringen Mengen ein ſattes Blau, und fein gemahlenes Kobaltglas iſt die Smalte, die früher eine viel verwendete blaue Malerfarbe war. Auch die Metalle ſelbſt vermögen Farbe hervorzurufen; das prachtvolle, tiefrote Rubinglas enthält Flitterchen von Gold und der durch ſeine Schönheit berühmte venezianiſche Aventurin Flitterchen von Kupfer in feinſter Verteilung.

Besondere Anforderungen bezüglich der Gleichmäßigkeit und der Lichtbrechung werden an die optischen Gläser gestellt, an das stark brechende Kron- und an das schwächer brechende Flintglas, die beide zu Linsen dienen und chemisch anders zusammengesetzt sind. Flint ist ein Bleiglas, bei dem die Kieselsäure durch Borsäure ersetzt und auch Tonerde vorhanden sein kann. Kron ist ein Kalkglas oder, vorteilhafter, ein mit Phosphorsäure und Borsäure bereitetes Glas, das als Basen neben Erdalkalien ebenfalls Tonerde enthält. Der mehr oder weniger vollständige Ersatz der Kieselsäure durch Borsäure hat sich auch in anderer Hinsicht als bedeutungsvoll erwiesen, und so ist das Jenaer Geräteglas entstanden, ein zinkoxyd- und tonerdehaltiges Borosilikat, das gegen chemische Einflüsse und Temperaturwechsel viel widerstandsfähiger ist als das gewöhnliche Glas. Ebenfalls ein Borosilikat liegt in dem Emailglas vor, einem farblosen oder farbigen leicht schmelzbarem Bleiglas, das als Verzierung oder schützender Überzug auf Tonwaren und Metalle aufgetragen wird. Die bleifreie Glasur emaillierter Eisengeräte ist ein mit Zinnoxyd hergestelltes, borathaltiges Silikat. Die unter dem Namen Straß bekannten Edelsteinimitationen sind durch Metalloxyde gefärbte borathaltige Bleigläser, während die wahren künstlichen Edelsteine, deren technische Gewinnung nach dem von Verneuil ausgearbeiteten Verfahren erfolgt, wie die echten, also wie etwa der Rubin oder Saphir, in der Hauptsubstanz aus Tonerde bestehen.

Ähnlich wie das Glas als wesentlichen Bestandteil Calciumsilikat enthält, birgt auch ein anderes, technisch wichtiges Produkt, der Zement, Kalk in Bindung an Kieselsäure. Der Zement besteht in der Hauptsache aus mehreren Calciumsilikaten verschieden hohen Kalkgehaltes, überdies aber auch aus Tonerdeverbindungen des Kalkes, aus Calciumaluminaten. Seine große praktische Bedeutung beruht auf der Fähigkeit, in feingemahlenem Zustand mit Wasser angerührt zu einem harten Stein zu erstarren, so daß er sich trefflich zu Mörtel eignet. Der von alters her gebräuchliche Mörtel ist von viel einfacherer chemischer Natur und bedient sich als verkittendes Material lediglich des Löschkalks, der darum mit der Zeit hart wird, weil er sich mit der Kohlensäure der Luft zu Calciumkarbonat, also zu künstlichem Kalkstein, verbindet. Er wird aus gelöschtem Kalk mit Wasser und Sand angerührt und als steifer Brei in den Fugen zwischen den Bausteinen verstrichen; sein Festwerden erfolgt in dem Maße, als von außen her Kohlensäure in ihn eindringt, und bei dickem Mauerwerk ist sogar nach Jahrhunderten die Erhärtung noch nicht abgeschlossen. Da sein Hartwerden nur an der Luft erfolgt, wird er näher als Luftmörtel bezeichnet. Wird anstatt Kalk Zement genommen, so ist die Anwesenheit von Luft unnötig, und die Mischung wird nun zu einem Wassermörtel oder hydraulischen Mörtel, bei dessen Erhärtung Kohlensäure keine Rolle mehr spielt. Einzig und allein das darin enthaltene Wasser ist wirksam; es verbindet sich mit den im Zement vorhandenen Kalksilikaten und -aluminaten und verwandelt diese in Kolloide, welche allmählich kristallisieren und so das ganze Gemenge fest zusammenkitten. Frisch angemacht erstarrt der breiige Wassermörtel im Verlauf weniger Stunden zunächst zu einem Kuchen von nur geringer Festigkeit; er bindet ab, und erst nachher beginnt das wahre Erhärten, das sich monatelang hinzieht und auch unter Wasser eintritt. Vermischt mit Kies oder Steinschlag bildet der Wassermörtel einen selbständigen Baustoff, den Beton, der mit eingebetteten Eisen-

stäben, die darin nicht rosten, im modernen Hoch- und Tiefbau verbreitetste Anwendung findet.

Zement kommt natürlich vor und ist in vulkanischen Gegenden aus Lava entstanden, so die Puzzolane aus Puteoli, die schon die Römer zu Hafenbauten benützten, ferner die Trasse aus der Eifel, die gemahlener Tuffstein sind. Seit etwa hundert Jahren wird der Zement technisch gewonnen, zunächst der Romanzement, den man aus tonigen Kalksteinen durch Brennen unterhalb der Sinterungsgrenze herstellt. Der beste und gebräuchlichste ist der Portlandzement, der seinen Namen dem grünlichgrauen, an Portlandbausteine erinnernden Aussehen verdankt. Die Rohstoffe für ihn sind Kalksteine und Ton, die man zerkleinert und in feingemahlenem Zustand innig vermengt. Aus der auf Grund chemischer Analysen richtig eingestellten Mischung preßt man unter Zugabe von Wasser Ziegel und brennt dann diese in geeigneten Öfen bis zum Sintern. Die sich ergebenden steinharten Klinker werden vorgebrochen und staubfein gemahlen, und das gewonnene graue Mehl ist der zu Bauten dienende gewöhnliche Zement. Auch aus Abfällen der Eisenindustrie, aus den Hochofenschlacken, läßt sich Zement bereiten. Die aus Silikaten bestehenden Schlacken werden mit Kalkstein zu Klinkern gebrannt, aus denen man den Hochofenzement mahlt, der dem Portlandzement völlig ebenbürtig ist.

Bindet sich im Zement die Tonerde säureartig, so ist sie in den Tonwaren basenartig gebunden. Der die Tonerde liefernde Rohstoff ist in beiden Fällen der Ton, ein wasserhaltiges Aluminiumsilikat, das sich durch Verwittern feldspatführender Gesteine bildet und nach der Formel Al_2O_3, 2 SiO_2, 2 H_2O zusammensetzt. Bei der Zementbereitung wechselt die Tonerde ihre Funktion und bindet sich im Klinker an den reichlich zugefügten Kalk; bei der Töpferei und Keramik dagegen, wo keine oder nur eine geringe Basenzugabe stattfindet, bleibt sie an die Kieselsäure gebunden. Der Ton wird schon beim Brennen für sich allein zu einem festen, zusammenhängenden Stein; er verliert in der Glühhitze seinen gesamten Wassergehalt und verwandelt sich in die harte und widerstandsfähige Schamotte, die ebenfalls ein Aluminiumsilikat, wenn auch von anderer chemischer und physikalischer Beschaffenheit ist.

Die reinste Form des Tons ist der Kaolin, die weiße, lockere und zerreibliche Porzellanerde. Die anderen Tone sind grau bis gelb und enthalten mehr oder weniger Begleitstoffe, wie Quarzsand, kohlensaurer Kalk und Eisenoxyd, die die Eigenschaften wesentlich beeinflussen. Vorbedingung für die Brauchbarkeit eines Tons ist die Bildsamkeit, d. h. die Eigenschaft, sich mit Wasser zu einem steifen Brei ankneten zu lassen, den man schneiden und formen kann. Die Bildsamkeit beruht in erster Linie auf der Quellbarkeit der kolloiden Tonteilchen, richtet sich aber im übrigen nach der Menge und der Natur der Begleitstoffe. Tone, die gut bildsam sind, nennt man plastisch, während die weniger bildsamen als mager bezeichnet werden. Durch Zusatz feingemahlener, nicht quellbarer Mineralien, wie Feldspat oder Quarz, wird der Ton mager; plastischer wird er durch andauerndes Kneten und durch die Gegenwart von Humussäuren, die insbesondere bei seinem Faulen oder Einsumpfen in Gruben günstigen Einfluß ausüben. Gebrannter Ton ist, auch wenn er noch so fein gemahlen wird, nicht mehr plastisch, und Schamotte kann sogar als Magerungsmittel dienen.

Beim Stehenlassen an der Luft trocknet der geknetete Ton wieder ein und hinterbleibt als eine ziemlich feste, aber immer noch leicht zerdrück- und zerreibbare, poröse Masse. Das Wegdunsten des Wassers ist von einem Zusammenrücken der Teilchen und einem Schrumpfen des geformten Körpers begleitet, und dieses Schwinden wird bei hoher Plastizität so groß, daß Risse und Sprünge auftreten. Um ihm entgegenzuwirken, setzt man ein Magerungsmittel, etwa Quarzsand, zu von dem aber nicht zu viel genommen werden darf, da sonst die Plastizität zu sehr leidet. Zu dieser Trockenschwindung gesellt sich beim nachfolgenden Brennen die Feuerschwindung hinzu, bei der die Tonteilchen noch näher zusammenrücken, die Poren sich verengen und infolge teilweisen Schmelzens, infolge Sinterns der Teilchen sich mehr und mehr schließen. Bis zu welchem Grade die gebrannte Masse, die man Scherben nennt, die Porosität verliert, hängt ab einerseits von vorhandenen oder beigefügten, das Schmelzen erleichternden Flußmitteln, die zugleich auch Magerungsmittel sein können. Der ganz reine, von allen Beimengungen freie Ton ist hoch feuerfest; er schmilzt im heißesten Ofenfeuer nicht, sintert wohl, bleibt jedoch so porös, daß sein Scherben ausgespritztes Wasser einsaugt und beim Belecken an der Zunge klebt. Werden ihm Flußmittel beigemischt, so geht, da diese sich mit ihm zu leichter schmelzbaren Substanzen chemisch umsetzen, die Feuerfestigkeit zurück und der Scherben zeigt dann nicht mehr porige, sondern glasige Struktur. Das Aussehen des Scherbens bildet die Unterlage für die Einteilung der mannigfaltigen Erzeugnisse der Tonwarenindustrie.

Das edelste Erzeugnis ist das Porzellan, welches den Chinesen schon seit dem 6. Jahrhundert bekannt, in Deutschland von Tschirnhausen 1695 erfunden und dann von dessen Mitarbeiter Böttger 1709 fabrikmäßig hergestellt wurde. Das Porzellan hat einen verglasten, dichten, weißen Scherben, ist härter als Stahl und zumeist mit durchsichtiger Glasur überzogen. Zu seiner Fabrikation wird geschlämmter Kaolin mit gemahlenem Feldspat und Quarzsand, die als Flußmittel dienen, naß gemischt und durchgeknetet und die plastische Masse, nachdem sie noch ein monatelanges Faulen unter Wasser durchgemacht hat, auf der Töpferscheibe oder aus freier Hand geformt (siehe Tafel). Die langsam im Schatten getrockneten Gegenstände werden zweimal gebrannt, zuerst in der Rotglut bei etwa 900°. Nach diesem Rohbrand, bei dem der Scherben noch porös bleibt, trägt man durch Umziehen in der in Wasser aufgeschlämmten Glasurmasse diese auf und trocknet nochmals. Die Glasurmasse besteht aus denselben Stoffen wie die Porzellanmischung, bekommt aber noch zwecks genügender Verglasung einen Zusatz von Marmor oder anderen Flußmitteln. Den Schluß bildet der Glattbrand im Scharffeuer bei etwa 1400 bis 1500°, bei welchem die Glasur aufschmilzt und der Scherben verglast. Sowohl beim Roh- als auch beim Glattbrand stellt man das Porzellan, um es vor Verunreinigung durch den Flugstaub des Feuers zu schützen, in Kapseln aus feuerfestem Ton ein (siehe Tafel). Farbige Verzierungen werden entweder vor oder nach dem Glattbrand angebracht. Im ersteren Falle sind sie Unterglasurfarben, zumeist Metalloxyde, die unter oder mit der Glasur aufgetragen werden und das Scharffeuer müssen aushalten können; im letzteren sind sie Muffel- oder Schmelzfarben, gefärbte Bleigläser, die auf das fertige Porzellan in weniger heißen Muffelöfen nachträglich aufgebrannt werden. Eine beliebte Unterglasurfarbe ist das mit

Kobaltoxyd hervorgerufene Blau. Porzellan ohne Glasur ist das Biskuit, das zu Reliefs und mancherlei technischem Gerät dient.

Ebenso wie das Porzellan hat auch das Steinzeug, das jedoch wegen geringerer Reinheit des Rohstoffs nicht durchscheinend ist und zumeist grau, gelb oder braun aussieht, einen verglasten, stahlharten Scherben. Das feine Steinzeug des Kunstgewerbes steht dem Porzellan noch am nächsten und ist wie dieses zweimal gebrannt; das gemeine dagegen, zu welchem namentlich das altdeutsche Geschirr und die Bierkrüge gehören, ist nur einmal und ohne Kapseln unmittelbar aus feuerfestem Ton gebrannt, überhaupt nicht glasiert oder höchstens mit einer leichten Salzglasur versehen, die man einfach durch aufgestreutes Kochsalz, das mit dem Ton zu einem alkalihaltigen Silikat verschmilzt, erzeugt. Sehr vieles Steinzeug wird, da es gegen Chemikalien äußerst widerstandsfähig ist, für die chemische Industrie hergestellt, beispielsweise Säurebehälter, Rohre, Pumpen und Hähne.

Einem Scherben mit poröser Struktur begegnet man im Steingut, das aus feuerfestem, weißbrennendem Ton unter Zusatz von Quarzsand und Feldspat in Kapseln zweimal gebrannt wird. Sowohl um die Gefäße zu dichten, als auch um sie künstlerisch auszuschmücken, versieht man sie mit einer meistens aus Bleisilikaten bestehenden Glasur. Der Glattbrand erfolgt in einem weniger scharfen Feuer, wodurch der Schwund sich verringert und Gestaltsveränderungen vermieden werden. Aus weißem Steingut, das porzellanähnlich aussieht, verfertigt man Waschtische, Badewannen und andere Sanitätsware. Hochgeschätztes Steingut sind Majolika und Fayence, die aus farbigen Tonen gebrannt und auf der Glasur kunstvoll bemalt sind. Aus sehr unreinem Ton ist das gewöhnliche irdene Töpfergeschirr hergestellt, das mit Salz- oder Bleiverbindungen glasiert und dessen rote Farbe auf einem Gehalt an Eisenoxyd zurückzuführen ist.

Weitere Erzeugnisse aus porösem Scherben sind die schon seit ältesten Zeiten benützten Ziegelsteine. Die Terrakotten, Backsteine und Dachziegel werden aus Lehm und Tonmergeln in Pressen geformt und in Ringöfen bei etwa 1000° bis zum Beginn des Sinterns gebrannt. Ihre gelbe bis rote Farbe rührt vom Eisengehalt her. Die wetterbeständige, farbige Bleiglasur, mit der sie oft versehen sind, ist in einem zweiten Feuer aufgebrannt.

Wie die vorangehenden Darlegungen erhellen, sind die Silikate das gegebene Bau- und Gefäßmaterial. Damit ist aber ihre Anwendbarkeit noch lange nicht erschöpft, und noch manch andere Industrie zieht Nutzen aus ihnen. So bereitet man aus ihnen Farbstoffe, und eine der wichtigsten dieser Mineralfarben ist das Ultramarin, ein schwefelhaltiges Natriumaluminiumsilikat. Als Lasurstein in der Natur vorkommend, wurde es im Mittelalter als kostbare blaue Malerfarbe und zur Himmeldarstellung in Mosaiken benützt. Heute ist es ein billiges Handelsprodukt, das aus Kaolin mit Soda, Schwefel und Holzkohle in Tonkapseln gebrannt wird und als ungiftiger Farbstoff zum Bläuen und Malen dient. Eine Anwendung ganz eigener Art findet ein anderes Natriumaluminiumsilikat, der Permutit, der sein Alkali in nur loser Bindung enthält und aus Kaolin, Feldspat und Soda erschmolzen wird. Er tauscht seinen Gehalt an Alkali leicht gegen einen solchen an Erdalkali ein und eignet sich daher vorzüglich zum Weichmachen von hartem Wasser, das beim Hindurchsickern zwischen gekörntem Permutit den Kalk und die Magnesia

ohne weiteres gegen Natron auswechselt. Der ausgebrauchte Permutit wird durch Überschütten mit einer Kochsalzlösung in die ursprüngliche Natriumverbindung zurückverwandelt und ist daher dann erneut brauchbar. Solche Permutitanlagen sind in der Industrie weit verbreitet.

IV. Die Kohlehydrate.

So wertvoll die Schätze sind, die der Mensch dem Boden zu entreißen vermag, zu noch so nützlichen Geräten und Materialien er Stein und Erde umzugestalten vermag, weit wichtiger als die tote Erdkruste, mit der er alles dies macht, ist für ihn das, was auf ihr die ewig schaffende Natur mit Leben beseelt. Was auf der Erdkruste grünt und sproßt, die Pflanzen, die darauf wachsen und gedeihen, sind für sein Dasein von viel unmittelbarer Notwendigkeit. Die Pflanzen liefern ihm Nahrung und Kleidung; sie geben ihm Zucker, Stärke, Brot, Leinen und Baumwolle. Die Hauptbestandteile aller dieser Stoffe gehören zu den Kohlehydraten, zu Naturprodukten, deren industrielle Verarbeitung auch in sonstiger Hinsicht für die menschliche Gesellschaft von Bedeutung ist. Das Gärungsgewerbe stellt aus Kohlehydraten den Alkohol und geistige Getränke her, und die Papierindustrie ist mit ihrem Erzeugnis ein Vermittler menschlichen Geistes.

Der Zucker, genauer ausgedrückt der Rohr- oder Rübenzucker, die Saccharose, ist ein in Pflanzensäften vorkommendes, süß schmeckendes Kohlehydrat von der Formel $C_{12}H_{22}O_{11}$. Im Altertum war das gebräuchliche Süßungsmittel der Honig, in tropischen Ländern auch der Saft des Zuckerrohrs, und erst um 300—600 n. Chr. kam der Zucker auf, den man in Ostindien aus dem Rohr abzuscheiden gelernt hatte. In den tropischen Ländern bildet noch heute das Zuckerrohr den Rohstoff, und das aus ihm bereitete Produkt, der Kolonialzucker, hat in neuester Zeit sogar wieder verstärkte Bedeutung auf dem Weltmarkt gewonnen. Daß gleichfalls in unseren einheimischen Pflanzen, namentlich in der Runkelrübe, derselbe Zucker vorhanden ist, entdeckte im Jahre 1747 der deutsche Chemiker Marggraf. Etwa ein halbes Jahrhundert später entstanden die ersten Zuckerfabriken, die aber, obwohl anfänglich durch die Kontinentalsperre gefördert, angesichts der geringen Zuckerausbeute nicht lebensfähig waren. Erst mit der Ausgestaltung der technischen Apparatur und der Verbesserung des Läuterungsverfahrens trat allmählich der Aufschwung ein, unter nicht geringer Mitwirkung der Agrikulturchemie, die es lehrte, durch geeignete Düngung und Kultur des Bodens den Zuckergehalt der Rüben von 5 bis schließlich auf 17% zu steigern.

Der Arbeitsgang in den Fabriken läuft darauf hinaus, aus den Rüben den Saft auszuziehen, diesen auf chemischem Wege zu reinigen und ihn alsdann bis zur Ausscheidung von kristallisiertem Zucker einzudicken. Die Rüben werden gewaschen und zerkleinert und die Schnitzel mit warmem Wasser in Diffuseuren möglichst vollständig ausgelaugt. Die ausgepreßten Schnitzel, die ihren Dienst getan haben, sind ein gutes Futter für Milchkühe und Mastvieh. Der gewonnene Rübensaft wird in Scheidekästen mit Branntkalk zusammengebracht, wodurch die Nichtzuckerstoffe teils eine Ausfällung, teils eine Zersetzung erfahren. Dabei geht Kalk in Lösung, und um diesen wieder aus dem Saft zu beseitigen, leitet man Kohlensäure ein, die

man sich zugleich mit dem Kalk durch Brennen von Kalksteinen mit Koks in der Fabrik selbst herstellt. Zwecks weiterer Reinigung leitet man noch Schwefeldioxydgas ein, das man sich durch Verbrennen von Schwefel bereitet, trennt hierauf die schlammigen Niederschläge auf Filterpressen ab und wäscht sie mit Wasser nach. Dieser Scheideschlamm enthält Nährsalze und Eiweißstoffe der Rüben und bildet deshalb einen geschätzten Dünger für den Rübenacker, dem damit wichtige Bestandteile zurückgegeben werden. Der vom Schlamm abfiltrierte Dünnsaft wird in Vakuumapparaten, die zwecks Kohlenersparnis derart gebaut sind, daß der Saftdampf von einem Kessel den nächstfolgenden Kessel heizt, zum Dicksaft eingeengt und dieser dann nach nochmaliger Klarfiltrierung in einem besonderen Vakuumkessel soweit verkocht, daß der Zucker auskristallisiert. Der auf Korn gekochte Saft, die Füllmasse, gelangt in Zentrifugen, in welchen vom ausgeschiedenen Rohzucker die als Melasse bezeichnete, sirupöse Mutterlauge durch Abschleudern entfernt wird. Der so erhaltene Rohzucker ist von gelblicher Farbe, klebrig, kratzend schmeckend und noch verunreinigt durch andere organische Stoffe und durch Mineralsalze.

Seine Reinigung erfolgt in den Raffinerien, die ihn auf Weißzucker verarbeiten. Dies geschieht entweder einfach dadurch, daß man aus ihm mit einer gesättigten, reinen Zuckerlösung die gelben Farbstoffe auswäscht, oder vollständiger dadurch, daß man nach dem Auswaschen ihn wieder in Wasser löst und die Lösung nochmals mit Kalk und Kohlensäure behandelt. Sie wird zum Schluß noch über Knochenkohle filtriert und liefert dann beim erneuten Kochen auf Korn ein sehr reines Erzeugnis, das als Hut-, Würfel- oder Kristallzucker in den Handel kommt.

Sowohl die aus der Füllmasse als auch die beim Raffinieren anfallende Melasse, die einen dicken, schwarzbraunen Sirup bildet, enthält noch so große Mengen Zucker, daß dessen Ausbringung oder sonstige Verwertung von wirtschaftlicher Wichtigkeit ist. Sie kann an Vieh verfüttert oder auf Spiritus vergoren werden; vorteilhafter ist es aber, den Zucker abzuscheiden. Die Melasseentzuckerungsfabriken bedienen sich dazu des Strontianverfahrens, indem sie heiße Strontianlauge, die als wirksame Substanz das dem gelöschten Kalk analoge Strontianhydrat $Sr(OH)_2$ enthält, mit Melasse zur chemischen Umsetzung bringen. Die sich ausscheidende Strontiumverbindung des Zuckers wird auf Nutschen abgesaugt und hernach durch Übergießen und Stehenlassen mit kaltem Wasser wieder zerlegt, wobei der wieder entbundene Zucker in Lösung geht. Die Lösung wird von allem Strontian durch Einleiten von Kohlensäure befreit und schließlich wie anderer Dünnsaft auf Dicksaft und Füllmasse verarbeitet. Die von der Strontiumverbindung des Zuckers abgesaugte braune Lauge beherbergt keinen Zucker mehr, wird aber dennoch nicht weggeworfen, sondern anderweitig in der chemischen Industrie verwertet. Sie wird eingedickt, der in ihr noch vorhandene Strontian beseitigt und die erhaltene Schlempe durch Erhitzen in Retorten auf Ammoniak und Blausäure und insbesondere auf Schlempekohle verarbeitet. In dieser letzteren ist der Kaliumgehalt der Rüben angehäuft, so daß daraus mit Vorteil Pottasche gewonnen werden kann.

Auch bei der Ausbringung von Zucker aus dem Zuckerrohr fällt eine Melasse an, die indessen, da sie aromatische Substanzen birgt, wohlschmeckend ist und als Speisesirup dient. Durch Gärung und Destillation wird aus ihr der Rum und der Arrak hergestellt.

Wie der Zucker, so ist auch das als Nahrungsmittel wichtigste Kohlehydrat, die Stärke, ein Erzeugnis pflanzlichen und landwirtschaftlichen Ursprungs. In Form mikroskopisch kleiner Körnchen in den Pflanzenzellen abgelagert, findet sie sich hauptsächlich in Wurzelknollen, Samen und Früchten, in denen ihr die Funktion eines Reservestoffes zufällt. Daraus abgeschieden bildet sie ein weißes, geruch- und geschmackloses, lockeres Pulver, das in Wasser sich nicht löst, sich aber in der Hitze damit verkleistert. Abgesehen von einem geringen Gehalt an Phosphorsäureverbindungen entspricht ihre chemische Zusammensetzung der empirischen Formel $C_6H_{10}O_5$, die wohl zu vervielfachen ist und der näheren Deutung noch Schwierigkeiten darbietet. Charakteristisch für die Substanz ist ihre Jodreaktion, nämlich die intensive Blaufärbung, die sie beim Betupfen mit Jodlösung gibt und mit Hilfe deren ihr Vorhandensein stets leicht nachzuweisen ist.

Stärke wird in großen Mengen aus Kartoffeln gewonnen. Man zerkleinert sie auf Reibmaschinen und spült aus dem Reibsel die leicht aufschlemmbaren Stärkekörnchen mit Wasser heraus; der verbleibende, aus Zellfasern bestehende Rückstand, die Pülpe, hat noch beträchtlichen Nährwert und wird als Viehfutter verwendet. Weizenstärke wird hergestellt, indem man Weizenmehl mit wenig Wasser zu einem steifen Teig anmacht und aus diesem mit mehr Wasser die Stärke herausknetet; der übrigbleibende Kuchen besteht aus eiweißreichem Kleber. Von weiteren Stärkearten seien die Reis- und die Maisstärke angeführt, ferner der Arrowroot aus dem Wurzelstock der westindischen Pfeilwurzel und die Sagostärke aus dem Marke der in Ostindien heimischen Sagopalme.

Der Kleister, in welchen die mit Wasser angerührte Stärke beim Aufkochen übergeht, verwandelt sich beim Eintrocknen in eine feste, hornartige Masse. Hierauf beruht das Steifen von Krägen und anderen Wäschestücken, sowie das Appretieren von Geweben. Auch als Klebstoff, insbesondere für Papier, eignet sich der Kleister. Geschätzte Klebestoffe sind die Dextrine, schon in kaltem Wasser leicht lösliche Produkte, die aus Stärke durch Rösten mit oder ohne Zusatz von Säure hergestellt werden und beispielsweise für Briefmarken und Klebezettel dienen.

In den Dextrinen ist die Stärkesubstanz bereits verändert und schon bis zu einem gewissen Grad abgebaut. Wird der Abbau weitergetrieben, wie man dies durch Erhitzen eines Kleisters mit Salzsäure erreicht, so erhält man schließlich bei völliger Aufspaltung den Traubenzucker $C_6H_{12}O_6$. Der Stärkezucker und der Stärkesirup des Handels sind so bereitete Endprodukte, die allerdings neben Traubenzucker immer noch mehr oder weniger Dextrin enthalten.

Die größte Bedeutung besitzt die Stärke für die menschliche Ernährung. Sie ist der Hauptbestandteil des aus Getreide gewonnenen Mehles und damit des Brotes, dessen Bereitung im wesentlichen nur darauf hinausläuft, die Stärke schmackhafter und verdaulicher zu machen. Durch den Backvorgang wird im Teig, den der vom Getreidekorn stammende Kleber zusammenhält, die Stärke verkleistert und der Kleister infolge Entwicklung von Wasserdampf und Kohlendioxyd schwammig aufgelockert. Auf der Oberfläche geht ein Teil in Dextrin über, das die braune Kruste bildet, die das Brot haltbar macht, indem sie es vor dem Austrocknen und dem Eindringen schädlicher Keime schützt. Das für die Auflockerung notwendige Kohlendioxyd entsteht im angekneteten Teig aus dem im Mehl vorhandenen Zucker

und aus einem kleinen Teil der Stärke durch einen Gärungsprozeß, welchen bei Schwarzbrot der Sauerteig, eine Mischung von Hefe und Milchsäurebakterien, bei Weißbrot und Kuchen reine Hefe herbeiführt. Das Auflockern kann ebensogut durch Chemikalien bewirkt werden, so durch Hirschhornsalz, Ammoniumkarbonat, das in der Hitze sich in Ammoniak, Wasser und Kohlendioxyd spaltet. Die meist gebräuchlichen Backpulver enthalten als Grundsubstanzen Natriumbikarbonat und Weinstein, die sich dann unter Entbindung von Kohlendioxyd aus dem Karbonat beim Backvorgang miteinander umsetzen. Denselben Dienst wie Kohlendioxyd vermögen auch andere Gase zu leisten, und so hat man in neuerer Zeit Wasserstoffperoxyd in Vorschlag gebracht, das, dem Teig zugesetzt, ihn nachher durch Sauerstoffentwicklung auftreibt.

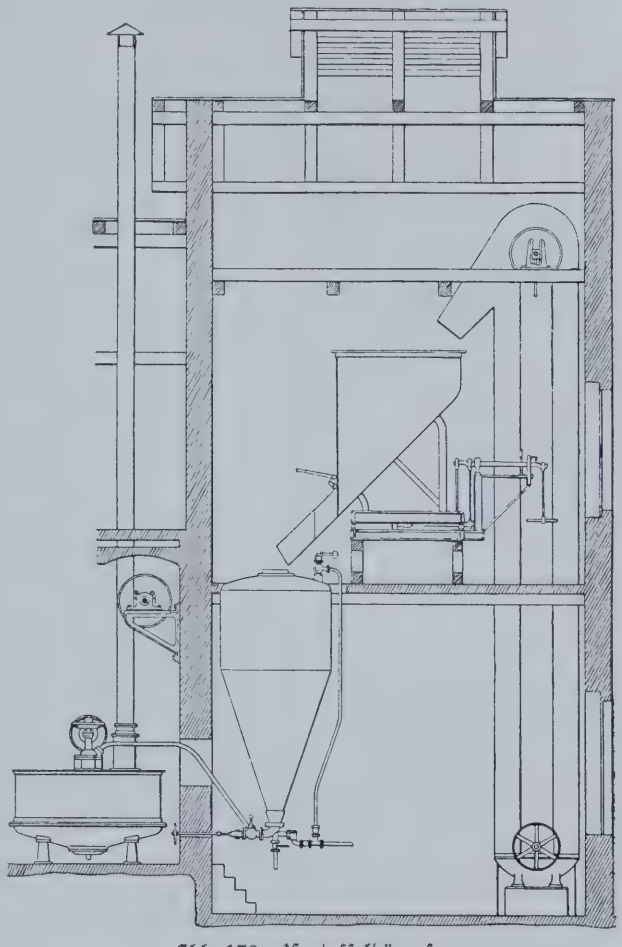


Abb. 170. Kartoffeldämpfer.

Eine anderweitige wichtige Grundlage bildet die Stärke für das Gärungsgewerbe, also für die Bereitung von Alkohol und geistigen Getränken. Die chemischen und biologischen Vorgänge, welche sich dieser Industriezweig dienstbar macht, sind recht kompliziert und in hohem Grade abhängig von einer Reihe von Bedingungen; wenn man aber von näheren Einzelheiten absieht, so treten zwei Hauptumwandlungen, die aufeinanderfolgen, in den Vordergrund. Die erste dieser Umwandlungen besteht in einem durch Malz bewirkten Abbau der Stärke bis zu Maltose $C_{12}H_{22}O_{11}$, und die zweite in einem durch Hefepilze veranlaßten Übergang dieses Malzzuckers über Traubenzucker $C_6H_{12}O_6$ in Alkohol C_2H_5OH und Kohlendioxyd CO_2. Erforderlich für die verschiedenen Verfahren sind demnach nicht allein stärkehaltige Naturprodukte sondern auch Malz und Hefe. Das Malz wird aus Gerste erzeugt, die man zuerst in Wasser einweicht und dann auf der Tenne bei niedrig gehaltener Temperatur keimen läßt. Im Getreidekorn entsteht durch dieses Wachstum diejenige Substanz, auf die es ankommt, nämlich die Diastase, dasjenige Enzym, das die Stärke zu Maltose zu verzuckern vermag. Die gekeimte

Gerste bildet das Grünmalz; wird durch nachfolgendes Erhitzen der Keimling abgetötet, so erhält man das Darrmalz. Ebenso wie die Mälzerei ist auch die Hefezucht ein wesentlicher Teil des Gärungsgewerbes, denn die Reinheit und Rasse der angewandten Hefe entscheidet über den Verlauf der Gärung und damit über das Auftreten von Geschmacksstoffen und sonstigen Nebenprodukten.

Ausgangsmaterial für die Gärungsbetriebe ist in keinem Fall die Stärke als solche, sondern stets das stärkeführende landwirtschaftliche Erzeugnis selbst. So sind in den Spiritusbrennereien vorwiegend Kartoffeln das Ausgangsmaterial. Die gewaschenen Kartoffeln werden in großen, unten konisch sich verjüngenden Druckkesseln, in Henzedämpfern, mit gespanntem Dampf gargekocht und dann durch die untere enge Öffnung, die sie dabei zu Brei zerdrückt, ausgeblasen (vgl. Abb. 170). Der Brei fließt unter Abkühlung in den Maischbottich, in dem sich aus zerquetschtem Grünmalz mit Wasser angerührte Malzmilch befindet, und die so angesetzte Maische unterzieht sich nun bei einer Temperatur von 55—60° der Verzuckerung. Hierauf wird die Temperatur auf 17—20° erniedrigt und die Maische in hölzernen Bottichen oder eisernen Kesseln mit Hefe zur mehrere Tage dauernden Gärung angestellt. Aus der vergorenen Maische trennt man in besonders wirksamen Apparaten den Alkohol durch Destillation ab und bekommt auf diese Weise einerseits als alkoholfreien Rückstand die Schlempe, andererseits als alkoholisches Destillat den Rohspiritus, der aber noch die bei der Gärung nebenher entstandenen Fuselöle enthält und deshalb einer weiteren Reinigung zu unterwerfen ist. Diese Raffination oder Rektifikation erfolgt gleichfalls auf dem Wege der Destillation und ergibt einen Feinsprit mit einem Alkoholgehalt von etwa 95%. Zugleich werden auch die Fuselöle gewonnen und durch weitere Destillation in Amylalkohol und andere homologe Alkohole geschieden, welche, mit Fettsäuren behandelt, wohlriechende Ester, die zu Likören, Essenzen u. dgl. vielfach angewandten Fruchtäther liefern. Auch die Schlempe hat erheblichen Wert und dient als gern gebrauchtes Viehfutter. Wie Rektifizierapparate gebaut sind, veranschaulicht Abb. 171, in welcher C eine die aus dem Kessel B emporsteigenden Dämpfe zerlegende Rektifizierfäule darstellt.

Der Trinkbranntwein wird ähnlich hergestellt, nur daß die Brennereien hierfür keine Kartoffeln, sondern Getreide nehmen und dieses, ohne es vorher zu dämpfen, in geschrotetem Zustand unmittelbar vermaischen. Dieser Kornbranntwein enthält etwa 30% Alkohol und, je nach den Geschmacksanforderungen, bald mehr, bald weniger Fuselöl. Auch aus Früchten wird Branntwein bereitet, zumeist einfach dadurch, daß man sie zerstampft oder zerquetscht, den in ihnen enthaltenen Zucker der Selbstgärung überläßt und schließlich die Maische in oft sehr primitiven Einrichtungen der Destillation unterwirft.

Auf einem prinzipiell verschiedenen Wege wird der Mineralspiritus gewonnen, dessen Ausgangsmaterial mit Stärke und Zucker und überhaupt mit organischen Substanzen nichts mehr zu tun hat. Er ist ganz eine Errungenschaft der modernen Chemie und wird aus Calciumkarbid CaC_2 erzeugt, aus dem man zunächst durch Umsetzen mit Wasser Azetylen C_2H_2 entwickelt. Das Azetylengas wird dann mit Wasser zu Azetaldehyd C_2H_4O verbunden und hierauf der Aldehyd mit Wasserstoff zu Alkohol C_2H_5OH reduziert. Schon seit mehreren Jahren sind Fabriken im Gang, die nach diesem neuzeitlichen Verfahren Alkohol zu technischen Zwecken

herstellen. Für die Bereitung von Getränken wird man freilich bei dem alten Gärverfahren bleiben, denn es kommt nicht allein auf den Alkohol, sondern auch auf sämtliche anderen Bestandteile an, die gerade durch das Verfahren in das Erzeugnis

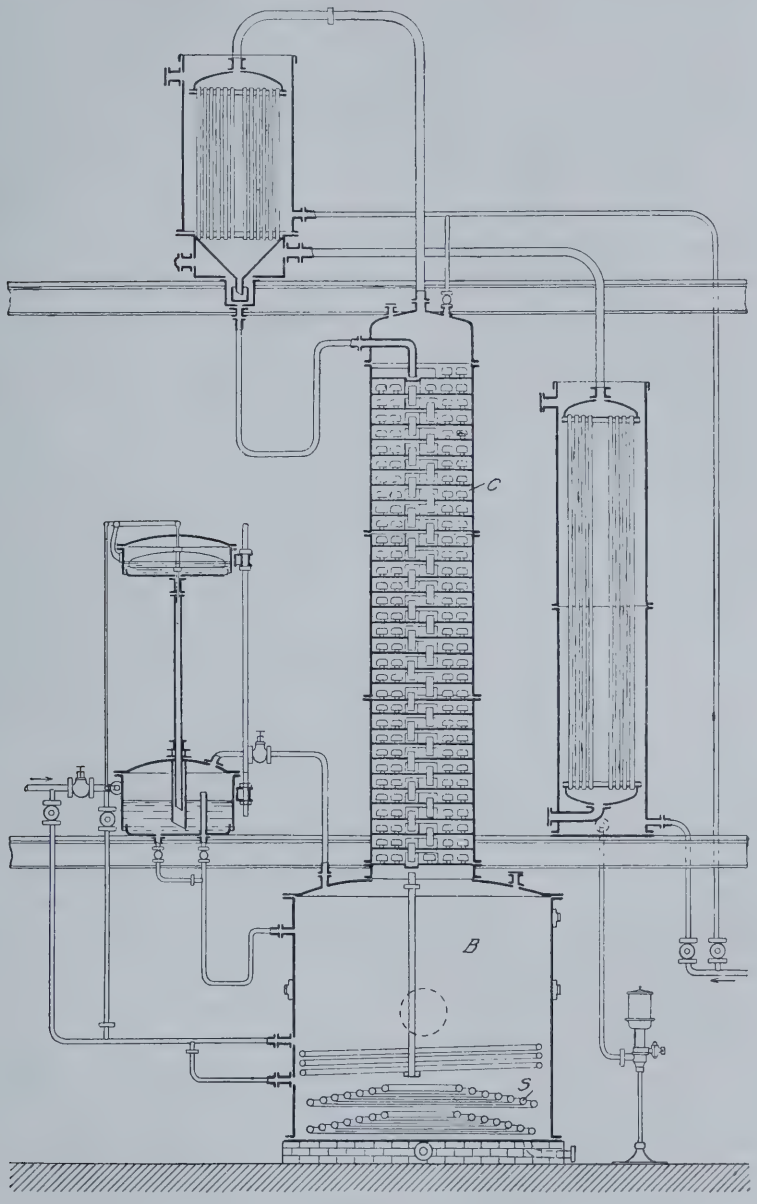


Abb. 171. Rektifikation des Spiritus.

hereingelangen und gerade durch ihr Vorhandensein ihm seinen spezifischen, eigenen Charakter verleihen.

Wie kompliziert die Verhältnisse bei geistigen Getränken liegen können, zeigt sich beim Bier, das aus Malz und Hopfen trinkreif gebraut, sich noch im Zustand einer langsamen Nachgärung befindet. Das Ausgangsmaterial der Brauerei ist

die Gerste, die zunächst in der Mälzerei auf Darrmalz verarbeitet wird. Das aromatisch riechende gebräunte Malz wird gemahlen und mit warmem Wasser so ausgelaugt, daß die Maische eine Temperatur von 70—75° erreicht und sich die Stärke des Gerstenkorns verzuckert. Die heiße Maische wird von den sich absetzenden, unlöslichen Malzrückständen befreit, das klare Filtrat, die Würze, zur Vernichtung der Enzyme und Ausfällung von Eiweißstoffen gekocht und zugleich mit dem Hopfen versetzt, der erst das Gebräu zum echten Bier stempelt. Die gehopfte, aus dem Sudkessel abgezogene Würze wird geklärt, durch Rieselkühler möglichst rasch auf Gärtemperatur abgekühlt, in offenen, großen Kufen in kühlen Räumen mit Reinzuchthefe angestellt und der Hauptgärung überlassen, die ein bis zwei Wochen in Anspruch nimmt. Das über der allmählich absitzenden Hefe stehende Jungbier wird auf Lagerfässer abgefüllt, worin es monatelang verbleibt, bis es durch Nachgärung in den trinkreifen Zustand übergegangen ist. Die belebende und berauschende Wirkung des Bieres beruht auf seinem Alkoholgehalt, der bei Lagerbieren meistens 3 bis 4% beträgt, bei Exportbieren und englischen Bieren jedoch höher ist. Seine erfrischende Wirkung verdankt es dem Kohlendioxydgehalt und sein Aroma dem Hopfen und dem Darrmalz. Es besitzt einen gewissen Nährwert, der jedoch nicht groß und durch den Gehalt an Extraktstoffen bedingt ist. Das Bier ist ein seit Jahrtausenden bekanntes Getränk, das schon die Ägypter und die Germanen zu brauen verstanden; das Zusetzen von Hopfen kam erst später auf und stammt aus dem 12. Jahrhundert.

Wie das Bier, so ist auch der **Wein** seit alten Zeiten bekannt. Aus Traubensaft durch Selbstgärung entstehend, verlangt er weit weniger technische Hilfsmittel als das Bier. Seine Bereitung, obwohl Sorgfalt erheischend, gestaltet sich einfacher, und für den Ausfall des Getränkes sind die Art der Rebe, die Lage, der Boden und die Witterung in viel höherem Grade ausschlaggebend als alle menschlichen Zugriffe. Die der Gärung unterliegenden Stoffe, Traubenzucker und Fruchtzucker, brauchen nicht erst erzeugt zu werden; sie sind schon als solche zur Herbstzeit in der reifen Beere enthalten und gehen beim Keltern in den ausgepreßten Traubensaft, den Most. In Fässer mit offenem Spund eingefüllt, gerät durch die von den Beeren und den Kämmen stammenden Hefezellen der Most von allein in Gärung, anfänglich unter stürmischer Kohlensäureentwicklung, später bei der sich Monate hinziehenden Nachgärung unter Ausscheidung des aus Hefe und Weinstein bestehenden Faßgelägers. Der geklärte Jungwein hat, auf Lagerfässer abgezogen, bei verschlossenem Spund in kühlen Kellern noch einen Reifungsprozeß durchzumachen, der den Geschmack entwickelt und auf Oxydation beruht. Das Erzeugnis ist Weißwein; um zu Rotwein zu gelangen, läßt man die blauen Beerenhäute im gärenden Most, wodurch der Farbstoff der Schalen, aber auch die die Herbheit hervorrufenden Gerbstoffe sich lösen. Was am Wein als Blume besondere Wertschätzung erfährt, das ist chemisch betrachtet die Gesamtheit der verschiedenen Geschmackstoffe, die zum Teil von der Traube selbst herstammen, zum Teil erst beim Reifungsprozeß aus den Weinfuselölen entstehen. Ihrer Zusammensetzung nach sind sie höhere Alkohole und Ester.

Der Alkoholgehalt der Weine ist erheblich höher als der des Bieres und beträgt in der Regel 9 bis 12%; bei südländischen Exportweinen ist er noch bedeutend größer und bewegt sich zwischen 20 und 24%. Die Schaumweine sind Kunstprodukte, die

man aus weißen Jungweinen in der Weise herstellt, daß man sie mit Rohrzucker und Hefe versetzt und in verkorkten dickwandigen Flaschen nochmals gären läßt.

Von allen Kohlehydraten, von welchen wir in der Natur außer Zucker und Stärke noch viele andere antreffen, ist am verbreitetsten die Zellulose, der Zellstoff, aus dem die pflanzliche Zellmembran besteht und aus dem gemeinsam mit verkittenden und starrmachenden Substanzen sich das Holz aufbaut. Diese begleitenden Inkrusten setzen sich aus verschiedenerlei Stoffen zusammen, namentlich aus Harzen, Gummi, Gerbstoffen und insbesondere aus der eigentlich verholzenden Substanz, dem Lignin. Die Inkrusten sind nur auf chemischem Wege entfernbar, und daher genügt die rein mechanische Zerkleinerung oder Zermahlung des Holzes noch nicht, um zum Zellstoff zu gelangen. Wohl wird Holz an Mühlsteinen zu Fasern naß zerschliffen und dieser Holzschliff nach dem Bleichen zur Papierbereitung verwendet; er liefert aber ein nur wenig haltbares, bald vergilbendes Papier, das seiner geringen Dauerhaftigkeit wegen lediglich zu Zeitungen und Packzwecken in Betracht kommt. Gutes Papier wird aus inkrustenfreiem Zellstoff verfertigt. Früher dienten dazu allein Hadern aus Leinen und Baumwolle; heute aber, wo der Bedarf ins Ungeheure gestiegen ist, bildet das Holz das wichtigste Rohmaterial.

Entrindetes und zerhacktes Fichtenholz wird in großen widerstandsfähigen Kesseln, in Kochern, mit der wäßrigen Lösung geeigneter Chemikalien unter Druck so lange erhitzt, bis die Zellfasern von den Inkrusten befreit und bloßgelegt sind. Beim Sulfitzellstoff dient als Kochflüssigkeit die Sulfitlauge, die als wirksame Substanz Calciumbisulfit enthält und aus Röstgasen von Pyrit mit Kalk oder Kalkstein und Wasser bereitet wird. Das weichgekochte Haufwerk von Holzstückchen wird in Rührtrommeln zerfasert, von Astknoten und verbliebenen Splittern, die man absiebt, unter reichem Wasserzufluß befreit und nach dem Reinwaschen auf einem Drahtgewebe in Pappenform gebracht. Die Ausbeute beträgt noch nicht ganz die Hälfte des Holzgewichtes; die andere Hälfte geht mit der ausgebrauchten Sulfitablauge und den Waschwassern in die Flüsse. Das Preisgeben des so nutzlos weggeschwemmten Materials, das dazuhin wegen Gefährdung der Flußläufe noch unschädlich gemacht werden muß, bedeutet einen wirtschaftlichen Verlust, dessen Behebung unbedingt zu erstreben ist. An Versuchen, die in sehr großen Mengen anfallende Sulfitablauge, die sogar vergärbaren Zucker enthält, irgendwie zu verwerten, hat es nicht gefehlt; am aussichtsreichsten ist die Verarbeitung auf Sulfitspiritus, die schon in mehreren Fabriken Eingang gefunden hat.

Beim Natronzellstoff besteht die Kochflüssigkeit aus Natronlauge, die man aber nach Gebrauch nicht verloren gibt, sondern wiedergewinnt. Diese Regenerierung, die das Verfahren erst lohnend macht, erfolgt durch Eindampfen im Vakuum, Kalzinieren im Gebläseofen und Umsetzen des aus Soda bestehenden Verbrennungsrückstandes mit Ätzkalk zur Lauge. Natronzellstoff wird in großen Mengen auch aus Stroh hergestellt, das sich angesichts seines beträchtlichen Gehaltes an Kieselsäure, deren Herauslösung ein starkes Alkali erfordert, zum Sulfitverfahren nicht eignet. Sulfatzellstoff ist ein dem Natronzellstoff ähnliches Produkt, nur daß beim Regenerieren der Kochlauge die Verluste nicht durch Zufügen von Soda, sondern durch Zufügen von Natriumsulfat, das billiger ist, gedeckt werden.

Der Zellstoff findet vielseitige Anwendung, in erster Linie zur Fabrikation von Papier. Aus ihm ist das gewöhnliche Schreibpapier und das gute Druckpapier verfertigt; dem besseren sind Hadern zugesetzt, während die dauerhaften Papiere, wie sie für Urkunden und Banknoten erforderlich sind, ganz aus diesen bestehen. Die Schreibpapiere werden, damit die Schrift nicht ausfließt, noch mit einer alaunhaltigen Leimlösung behandelt und schließlich in getrocknetem geleimten Zustand geglättet. In diesem Zusammenhang ist auch das viel benützte vegetabilische Pergament zu nennen, das man aus ungeleimtem Papier durch kurzes Eintauchen in konzentrierte Schwefelsäure und Auswaschen in Wasser bereitet.

Große Mengen von Zellstoff werden ebenso wie die Baumwolle auf Nitrozellulose verarbeitet, die, vermengt mit Kampfer, das Zelluloid oder das Zellhorn bildet, eine in der Wärme bildsame Masse, die als Ersatz für Horn, Elfenbein und Schildpatt und in großem Umfang zur Herstellung von photographischen und Kinofilmen dient. Die Nitrozellulose ist das Material für die Kollodiumseide, der ältesten der Kunstseiden. Das vom Grafen von Chardonnet erfundene und seit 1891 fabrikmäßig ausgeübte Verfahren geht von Baumwollabfällen aus, die man in Nitrozellulose überführt und als solche in einer Alkohol-Äthermischung zur Lösung bringt. Diese Flüssigkeit wird versponnen, indem man sie durch feine Düsen preßt und von den austretenden Fäden das Lösungsmittel wieder wegdunsten läßt. Das Gespinst hat die chemische Zusammensetzung der explosiven Schießbaumwolle, und um ihm seine Gefährlichkeit zu nehmen, behandelt man es noch mit Schwefelnatrium und verwandelt es in die harmlose Zellulose zurück.

Diese Art von Kunstseide, die sich ziemlich teuer stellt, ist von anderen überflügelt worden. Bei der Kupfer- oder Bembergseide wird die Baumwolle mit Kupferhydroxyd und Salmiakgeist zur Lösung gebracht und die blaue Flüssigkeit unter Druck aus Glaskapillaren zu einem Faden gesponnen, den man zunächst durch Natronlauge zum Gerinnen bringt und hierauf durch verdünnte Schwefelsäure wieder zu Zellulose macht. Bei der Viskoseseide ist das Ausgangsmaterial gereinigter Holzzellstoff, den man mit Natronlauge und Schwefelkohlenstoff auflöst. Die Lösung bleibt einige Tage zum Reifen stehen, wird dann versponnen und der erhaltene Faden durch angesäuerte Salzbäder als Zellulose wieder ausgefällt. Wesentlich verschieden von allen diesen Kunstseiden ist die Azetatseide, die zwar ebenfalls aus einer Lösung gesponnen wird, aber nicht aus Zellulose selbst, sondern aus deren Essigsäureester besteht.

Diese Kunstseiden sind von der echten Seide, mit welcher sie im wesentlichen nur den starken Glanz und den weichen glatten Griff teilen, von Grund aus verschieden. Die echte Seide ist ein natürlicher rein tierischer Faserstoff, der seiner chemischen Zusammensetzung nach zu den Eiweißstoffen gehört und von den Raupen einer gewissen Schmetterlingsart, wenn sie sich verpuppen, als schützender Kokon erzeugt wird. Das feine Gespinst, das sich auf der Außenseite des Kokons befindet und einen einzigen zusammenhängenden Faden bildet, ist die echte Seide, die sich durch eine sehr große Festigkeit auszeichnet und in nassem Zustand nicht so leicht zerreißt wie die künstliche. Gleichfalls eiweißartiger Zusammensetzung ist die Wolle, das durch Zucht veredelte Haarkleid des Schafes, und dasselbe gilt für die übrigen tierischen Faserstoffe, so für Ziegen- und Kamelhaare.

Bauen sich die tierischen Gespinstfasern aus Eiweißstoffen, so bauen sich die pflanzlichen aus Zellulose auf. Sie sind je nach der Herkunft bald Samenhaare, wie die Baumwolle, bald Bastfasern, wie der Flachs oder der Hanf. Die Baumwolle, bei der jedes Fäserchen eine nur einzellige langgestreckte Samenwimper ist, besteht bis auf kleine Anteile stets vorhandener Begleitstoffe vollständig aus Zellulose. Diese Begleitstoffe sind neben mineralischen Substanzen vorwiegend Wachse und bräunliche Farbstoffe, und bei der chemischen Verarbeitung der Baumwolle, etwa beim Bleichen, werden sie mehr oder weniger entfernt. Komplizierter als die recht einfache Struktur der Baumwollfaser ist die des Flachses. Er ist die im Stengel der Leinpflanze enthaltene Bastfaser und, wie aller solcher Bast, nicht einzellig sondern aus zahlreichen, miteinander fest verkitteten, längsgelagerten Zellen zusammengesetzt. Die verkittende Substanz, obwohl keine Zellulose, darf nicht entfernt werden, weil sonst die Faser in die Einzelzellen zerfällt und damit ihre Festigkeit einbüßt. Während für die Gewinnung der Baumwolle das rein mechanische Verfahren des Losreißens vom Samen, das Egrenieren, vollauf genügt, bedarf es beim Flachs sorgsamer chemischer und bakteriologischer Eingriffe. Die in den Stengel eingebetteten Bastfasern sind vom Holz abzulösen, und dies geschieht durch das sogenannte Rösten, durch Einlegen in Wasser oder Ausbreiten auf Wiesen, bis die holzigen Teile morsch und herausklopfbar geworden sind.

Infolge ihrer verschiedenartigen Natur verhalten sich die tierischen und die pflanzlichen Fasern chemisch ganz verschieden, und auch beim Färben treten prinzipielle Unterschiede zutage. Die pflanzlichen Fasern setzen dem Anfärben größere Schwierigkeiten entgegen, und so färbt beispielsweise der Anilinfarbstoff Fuchsin in wäßriger Lösung Wolle leicht und schön rot, während er auf Baumwolle nicht aufzieht. Die Baumwolle muß zuvor gebeizt, d. h. es müssen in ihr Fremdstoffe festhaftend niedergeschlagen werden, und erst dadurch kommt die Färbung zustande, daß dieser als Beize dienende Fremdstoff den Farbstoff aufnimmt und festhält. Eine große Vereinfachung und einen großen Fortschritt bedeutete die Entdeckung der direktziehenden Baumwollfarbstoffe, Azofarbstoffe, die ein Beizen überflüssig machen und auch ohne eine solche auf Baumwolle unmittelbar auffärben. Der größte Fortschritt war die Auffindung der Indanthrene, durch vorzügliche Echtheitseigenschaften ausgezeichnete Küpenfarbstoffe, die man in Form ihres mit Hyposulfit zu bereitenden Reduktionsproduktes auf die pflanzliche Faser auffärbt und nachher durch Luft oder sonstwie zum eigentlichen Farbstoff zurückoxydiert. Das Reduktionsprodukt, dessen wäßrige Lösung Küpe genannt wird, ist häufig von ganz anderer Farbe; so ist beim Indanthrengelb die Küpe tiefblau und daher die Ware zunächst ebenfalls blau und wird erst beim Verhängen an der Luft gelb.

Eine besonders wichtige Art der Echtfärberei ermöglichen die Entwicklungsfarbstoffe, die man nicht fertig bezieht, sondern aus den Komponenten erst in der Faser erzeugt. Man färbt die eine Komponente auf und entwickelt in einem zweiten Bade mit der anderen Komponente den Farbstoff. So färbt man Baumwolle in einem ersten Bade mit Naphthol AS gelb und entwickelt in einem zweiten, das eine diazotierte Anilinbase enthält, das gewünschte Rot. Rein äußerlich betrachtet erinnert diese Arbeitsweise an das Verfahren, wie man Beizenfarbstoffe auf Wolle färbt. Derartige Farbstoffe, z. B. das Alizarin und andere Anthrachinonfarbstoffe,

bekommen den richtigen Farbenton nur durch Umsetzung mit gewissen Metallverbindungen, und daher beizt man zunächst die Wolle mit Metallsalzen und geht erst nachher ins Farbbad.

V. Die Fette.

Sind die Kohlehydrate Substanzen vorzugsweise pflanzlichen Ursprungs, so sind die Fette Stoffe, die sowohl vom Pflanzenreich als auch vom Tierreich, und zwar von beiden reichhaltig dargeboten werden. Sie sind teils von öliger, teils von fester Beschaffenheit und als Glyzerinester der Fettsäuren, hauptsächlich der Palmitinsäure $C_{15}H_{31}CO_2H$, der Stearinsäure $C_{17}H_{35}CO_2H$ und der Ölsäure $C_{17}H_{33}CO_2H$ aufzufassen. Während sie in gereinigtem Zustand ohne Geschmack und Geruch und unverändert haltbar sind, werden sie in unreinem infolge natürlicher Beimengungen bald ranzig; sie erleiden eine Spaltung in Fettsäure und Glyzerin und unterliegen unter Aufnahme von Luftsauerstoff weiteren Zersetzungen, die sie ungenießbar machen. Die Fette sind wichtig für die menschliche Ernährung, und diese ist ihre Hauptverwendung; vielfach dienen sie auch technischen Zwecken und werden auf Seifen, Kerzen und andere Produkte verarbeitet.

Die Pflanze erzeugt ihren Fettgehalt selbst und lagert ihn gemeinsam mit Kohlehydraten und Eiweiß als Reservestoff in Samen und Frucht ab. Die meisten pflanzlichen Fette sind flüssig, so das Olivenöl, Rüböl, Erdnußöl und Baumwollsaatöl. Man gewinnt diese Pflanzenöle durch Zerquetschen der Früchte, Nüsse oder Samenkörner zwischen Eisenwalzen und Auspressen unter starkem Druck. Das erhaltene Öl wird einer chemischen Reinigung unterzogen, die besonders sorgfältig gehandhabt wird, wenn es sich um Speiseöle handelt. Der beim Auspressen hinterbleibende Ölkuchen, der noch Fett und andere Nährstoffe birgt, findet als Viehfutter Verwendung.

In manchen Fällen zieht man dem Auspressen eine Extraktion mit Lösungsmitteln vor, von welchen sich namentlich Benzol und Trichloräthylen bewährt haben. Auf diese Weise wird aus den Steinnüssen der Ölpalme das Palmkernöl und aus der Steinfrucht der Kokospalme das Kokosfett herausgeholt. Das Kokosfett, das im Rohzustand widerlich riecht und freie Fettsäure enthält, ist nach der Reinigung farblos, geruch- und geschmacklos und kommt so behandelt als Palmin auf den Markt.

Das tierische Fett, das im tierischen Organismus aus pflanzlichem Fett und aus anderen Nährstoffen entsteht, ist gewöhnlich fest; es wird erst in der Hitze ölig, um beim Abkühlen wieder zu erstarren. Je mehr unter den an das Glyzerin gebundenen Fettsäuren die Ölsäure vorwiegt, desto leichter erweicht und schmilzt ein Fett, und daher kommt es, daß der Rinder- und Hammeltalg noch ziemlich hart sind, während das Schweineschmalz schon salbenartig und das Olivenöl sogar ganz flüssig ist. Talg und Schmalz werden aus den herausgeschnittenen Fettmassen frisch geschlachteter Tiere einfach dadurch gewonnen, daß man alle Fleischreste möglichst abtrennt und das Fett durch Erhitzen aus dem eingeschlossenen Bindegewebe ausschmilzt. Auch die Knochen können verarbeitet werden; entweder extrahiert man sie mit Benzol oder befreit das Fett durch Herauslösen der Mineralsubstanz mit Salzsäure. Flüssige tierische Fette liegen in den Tranen vor, braune, unangenehm

Formen des Porzellans auf der Drehscheibe.

Einbringen des Porzellans in den Ofen.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

riechende Öle, die von Walen und Robben stammen und den Glyzerinester der Physetölsäure enthalten. Von besonderem Interesse ist der Lebertran, der als Arzneimittel geschätzt und aus der Leber des Dorsches ausgeschmolzen wird.

Da im allgemeinen die festen Fette begehrter sind als die flüssigen, so versuchte man, die Öle zu härten. Dieses Ziel ist auf Grund neuzeitlicher Erfahrungen über katalytische Vorgänge vollkommen erreicht worden und, obwohl erst seit wenigen Jahren eingeführt, ist heute die Fetthärtung ein wirtschaftlich wichtiger Industriezweig. Das Verfahren besteht darin, daß man Wasserstoff unter Druck und in der Hitze an das Öl anlagert und auf diese Weise die ungesättigten Säuren, welche den flüssigen Zustand begünstigen, zu gesättigten reduziert, also die Ölsäure $C_{17}H_{33}CO_2H$ in Stearinsäure $C_{17}H_{35}CO_2H$ und die Physetölsäure $C_{15}H_{29}CO_2H$ in Palmitinsäure $C_{15}H_{31}CO_2H$ verwandelt. Damit die Anlagerung des Wasserstoffs stattfindet, ist die Gegenwart eines Katalysators erforderlich; als solcher dient metallisches Nickel, das man, auf Kieselgur feinst verteilt, dem zu härtenden Öl einverleibt. Vor allem werden die wohlfeilen Walfischtrane der Härtung unterworfen und in Produkte überführt, die, vom Fischgeruch befreit, sich sogar zu Speisefetten eignen.

Das beliebteste von allen Speisefetten ist die Butter, die mit angenehmem Geschmack gute Bekömmlichkeit verbindet. Sie wird aus Kuhmilch bereitet, in der das Butterfett in emulgierter Form neben Eiweißstoffen, Milchzucker und Salzen vorhanden ist und die ihren Nährwert allen diesen Bestandteilen verdankt. Beim Stehenlassen der Milch steigen die Fettkügelchen allmählich hoch und schwimmen nun als Rahm obenauf, der, abgeschöpft und anhaltend geschlagen, Butterklümpchen abscheidet. Im Molkereibetrieb wird in der Weise verfahren, daß man die Milch zentrifugiert, den dadurch gewonnenen Rahm in Maschinen verbuttert und das zusammengeballte Fett zwecks Entfernung ranzigmachender Substanzen mit Wasser ausknetet. Die Magermilch, die beim Entrahmen anfällt, wird mit Lab versetzt und das ausfallende Kasein auf Magerkäse verarbeitet, die naturgemäß viel fettärmer ist als die aus Vollmilch dargestellte Fettkäse.

Die Butter setzt sich nicht bloß aus Fett zusammen; sie enthält stets mehr oder weniger Wasser und in geringer Menge auch die sonstigen Bestandteile der Milch. Ein Nahrungsmittel gleicher Beschaffenheit ist die Kunstbutter, die Margarine, deren Fett nicht der Milch entstammt, sondern anderer Herkunft ist. Zur Herstellung von Margarine verwendet man Rinderfett, Schweineschmalz und Pflanzenöle, die man zusammenschmilzt und mit schwach gesäuerter Magermilch innig verrührt. Der sich bildende steife Rahm wird mit Eiswasser bespritzt und in diesem abgekühlten Zustand mit Wasser ausgeknetet. Die Margarine erhält durch die Magermilch das Butteraroma und steht, falls aus bestem Material hergestellt, der wahren Butter sowohl an Nährwert als auch an Verdaulichkeit nicht nach.

Manche Öle, die man als trocknende bezeichnet, zeigen die Eigentümlichkeit, an der Luft nach und nach zu einer harzigen Masse zu erhärten. Was sich dabei vollzieht, ist eine Oxydation, die von einer Polymerisation begleitet ist. Chemisch charakterisieren sich derartige Öle dadurch, daß ihre Fettsäuren stark ungesättigt und infolgedessen äußerst reaktionsfähig sind. Das wichtigste der trocknenden Öle ist das Leinöl, das aus den Samenkörnern des Flachses gepreßt wird und sein leichtes Trocknen neben dem Glyzerinester der Ölsäure vor allem den Estern der Linol-

säure $C_{17}H_{31}CO_2H$ und der Linolensäure $C_{17}H_{29}CO_2H$ verdankt. Das Trocknen läßt sich katalytisch beschleunigen, und besonders wirksam erweisen sich Verbindungen des Bleis und Mangans, sogenannte Sikkative, die, dem Leinöl zugesetzt, es zum Firnis machen. Mit Farbstoffen angerieben ergibt der Firnis die Ölfarben, die in der Malerei und als Anstrich sich größter Anwendung erfreuen. Das hierbei stets auftretende Oxydationsprodukt des Leinöls, das Linoxyn, ist auch der wesentliche Bestandteil des Linoleums, für dessen Fabrikation es extra bereitet wird. Man verschmilzt es mit Harz zum Linoleumzement, den man mit Korkmehl und Farbstoffen verknetet und hernach in der Hitze auf Jutegewebe aufpreßt.

Die fetten Öle und die Fette sind von den Mineralölen, obwohl sie ihnen im Aussehen gleichen, grundverschieden; ihr Hauptmerkmal ist die Verseifbarkeit, also die Spaltbarkeit in Fettsäure und Glyzerin. Wird die Spaltung durch Alkali bewerkstelligt, so erhält man die Fettsäure in Form des Alkalisalzes und gewinnt demnach unmittelbar Seife. Schon zu Plinius Zeiten bekannt, damals aber nur als Salbe dienend, ist die Seife im Mittelalter als Waschmittel aufgekommen, jedoch erst zu Ende des 18. Jahrhunderts Gegenstand des Massenverbrauchs geworden. Angespornt durch den wachsenden Seifenbedarf der emporstrebenden Textilindustrie, gefördert durch die aufklärenden Arbeiten Chevreuls über die Natur der Fette, ermöglicht durch die entstehenden Sodafabriken und späterhin gesteigert durch die Heranziehung tropischer Palmfette, hat die Seifenindustrie einen mächtigen Aufschwung genommen und ist heute ein unentbehrlicher Kultur- und Wirtschaftsfaktor.

Das alte Verfahren der Seifensieder, die erforderliche Lauge durch Umsetzen von gebranntem Kalk mit Pottasche, die aus Holzasche stammt, zu bereiten, ist längst aufgegeben. Heute arbeitet man mit Natronlauge, die man von chemischen Fabriken bezieht, und gelangt so direkt zur gewöhnlichen Seife, die eine Natronseife ist, während früher zunächst eine Kaliseife entstand, die erst nachträglich bei der weiteren Behandlung einen Umtausch der Base erfuhr. Das Fett wird bis zur völligen Lösung und Spaltung mit der Lauge versotten, die flüssige Masse eingekocht und dieser zähe Seifenleim mit Kochsalz versetzt, wodurch er sich in den aufschwimmenden halbfesten Seifenkern und in die wäßrige Unterlauge scheidet. Man füllt den Seifenkern in Kästen ab, läßt ihn durch Abkühlen erstarren und preßt aus ihm Stränge, die man für den Gebrauch zu Riegeln zerschneidet und als Kernseife in den Handel bringt. Die Toiletteseifen sind aus den besten Fetten hergestellt und mit Farb- und Riechstoffen versehen.

Fügt man dem Seifenleim kein Kochsalz zu, so bleibt die Scheidung aus und er erstarrt als Ganzes, eine Leimseife bildend, die außer der eigentlichen Seife noch sämtliche übrigen Kochbestandteile enthält. Aus Kokosfett bereitet, vermag eine solche Leimseife, ohne daß man es ihr anmerkt, reichliche Mengen von Soda, Wasserglas und anderen Streckmitteln aufzunehmen, und insofern, als diese von geringerer Waschwirkung und unter Umständen sogar schädlich sind, ist in derartigen gefüllten Seifen ein minderwertiges Erzeugnis zu erblicken. Eine geschätzte, viel verwendete Leimseife ist die Schmierseife, die aus billigen Fetten mit Kalilauge versotten, weil sie eine Kaliseife ist, weich und salbenartig bleibt.

Das Glyzerin, das wertvolle Nebenprodukt der Fettzerlegung, geht in die Unterlauge und kann aus dieser gewonnen werden. Leichter und in besserem

Zustand ist es zu fassen, wenn man die Verseifung des Fettes nicht mehr mit Lauge, sondern nach anderen neueren und zweckmäßigeren Verfahren vornimmt. Man verkocht das Fett nicht mehr auf Seife, sondern spaltet es so, daß neben dem Glyzerin die freien Fettsäuren selbst sich bilden, nach deren Abtrennung dann ein Glyzerinwasser anfällt, das viel reiner ist als die an Kochsalz reiche Unterlage.

Bei der Autoklavenverseifung wird das Fett mit Wasser unter Zugabe von wenig Zinkoxyd und Zinkstaub mehrere Stunden lang unter Druck erhitzt, hernach das Glyzerinwasser abgelassen und die Fettsäureschicht durch Behandeln mit Schwefelsäure von gelöstem Zink befreit. Um die so erhaltene Fettsäure in Seife überzuführen, verkocht man sie mit Sodalösung zu ihrem Natriumsalz, und dies ist der Weg, auf dem die meiste Seife hergestellt wird. Eine sehr einfache Art der Verseifung ist das von Twitchell erfundene Pfeilringverfahren, nach welchem das Fett mit Wasser in einem Bottich gekocht und lediglich durch einen geringen Zusatz eigenartig zusammengesetzter Sulfonfettsäuren katalytisch gespalten wird.

Die Seife ist das gebräuchlichste Mittel zum Waschen und Reinigen. Sie muß hierfür möglichst frei von ungespaltenem Fett und von ungebundenem Alkali sein, denn durch das erstere nimmt sie ranzigen Geruch an und durch das letztere schädigt sie die menschliche Haut und die Textilien, namentlich solche aus Wolle. Die säubernde Wirkung hängt damit zusammen, daß wäßrige Seifenlösungen fettige und ölige Substanzen zu feinsten Tröpfchen milchartig zu zerteilen vermögen und auf diesem Wege die Schmutzteilchen, die durch solche Substanzen sich auf Haut und Zeug anheften, von ihrer Unterlage ablösen und in Emulsion bringen. Für einen guten, sparsamen Wascheffekt ist weiches Wasser Voraussetzung, da bei hartem ein Teil der Seife infolge Umwandlung in Kalk- und Magnesiaseife ausgeschaltet und unnütz vergeudet wird. Für viele Zwecke ist es erwünscht, daß die Seife sich leicht und rasch im Wasser löst, und hierzu empfiehlt sich das Seifenpulver, das eine zu lockerer, schneeähnlicher Masse zerstäubte Kernseife ist. Vielfach bestehen solche Waschpulver nicht allein aus Seife, sondern auch aus Soda, Wasserglas und mancherlei anderen Zusätzen. Die geschätzten Waschpulver von der Art des Persils, die mit der reinigenden Wirkung eine bleichende verknüpfen, enthalten einen Zusatz von Natriumperborat, das beim Auflösen in Wasser bleichendes Wasserstoffperoxyd abspaltet. Eine Reihe von Spezialseifen sind für gewisse Zwecke der Textilindustrie bestimmt; diese Textilöle sind größtenteils aus Rizinusöl durch Verbinden mit Schwefelsäure bereitet und dienen, wie etwa das Türkischrotöl, zum Färben oder zum Benetzen.

Die Fettsäuren sind das Material außer für Seifen auch für Kerzen. Verfertigte man in früheren Zeiten die billigen, riechenden Kerzen aus Talg und die feineren aus Bienenwachs, so ging man im vorigen Jahrhundert zur Benützung von Stearinsäure und Paraffin über. Die für die Stearinkerzen erforderliche Fettsäure gewinnt man entweder nach dem Autoklavenverfahren unter Zusatz von Magnesia oder durch Erhitzen des Fettes mit wenig konzentrierter Schwefelsäure. Sie muß aber, um weiß auszusehen, noch einen Reinigungsprozeß durchmachen, eine Vakuumdestillation, bei der sie durch erhitzten Wasserdampf übergetrieben wird. Das überdestillierte Produkt wird zuerst kalt und hernach warm unter hohem Druck ausgepreßt und so ein hartes, weißes Stearin erzeugt, während ein hauptsächlich aus Ölsäure bestehendes Preßöl abfließt, das wieder der Seifenfabrik zugute kommt und

auch in der Textilindustrie Verwendung findet. Die Stearinkerzen werden aus dem mit etwas Paraffin versetzten Stearin in Formen, in welchen der für die Flammengestaltung notwendige Docht eingespannt ist, auf Maschinen gegossen. Der Docht ist ein flaches Geflecht aus Baumwollfäden und mit anorganischen Substanzen imprägniert, die seiner Verrußung entgegentreten, indem sie sein Verbrennen erleichtern und die hinterbleibende Asche zu einem feinen Tröpfchen verschmelzen. Seine flache Gestalt bewirkt, daß das ausgebrannte Ende sich aus der Flamme neigt und so deren Qualmen und der damit verknüpften Lichtschwächung vorbeugt.

Die Kerzen aus Bienenwachs werden, da sie schwierig zu gießen sind, etwas anders verfertigt; entweder begießt man den Docht mit der geschmolzenen Masse wie bei den Altarkerzen, oder zieht man ihn hindurch wie bei den Wachsstöcken. Die verschiedenen Wachsarten stehen wohl den Fetten sehr nahe, unterscheiden sich aber von ihnen namentlich dadurch, daß die Fettsäure sich nicht an Glyzerin, sondern an höhermolekulare Alkohole, im Bienenwachs an Myricylalkohol, bindet. Das Bienenwachs ist das Material, aus welchem die Biene sich die Waben baut und zu welchem sie zuckerhaltige Nahrung verdaut. Wachsarten anderer Zusammensetzung bilden das Wollfett, das sich in der rohen Schafwolle vorfindet und als Lanolin eine gelbliche Salbe darstellt, die wegen ihres leichten Eindringens in die Haut sehr beliebt ist.

* * *

Fünfter Teil

Angewandte Astronomie

Von Dr. H. H. Kritzinger

Gliederung des fünften Teiles

Seite

I. Ballistische Beziehungen der Astronomie 312
II. Kalenderfragen 313
III. Astronomische Chronologie 317
IV. Astronomische Ortsbestimmung 319
V. Meteorologische Probleme 323
VI. Ebbe und Flut 329
VII. Beziehungen der Astronomie und Physiologie 331

So weltenfern uns auch die meisten Gegenstände der Himmelskunde sind, so eng ist sie doch mit vielen Fragen des praktischen Lebens verbunden, allerdings ohne daß wir uns dessen bewußt werden. Schon allein der Kalender, nach dem wir Tage und Jahre abzählen und ganz besonders die Zeiteinteilung des Tages selbst sind uns so in Fleisch und Blut übergegangen, daß wir gar nicht mehr wissen, daß ihre Festlegung verhältnismäßig schwierige astronomische Berechnungen und Beobachtungen zur Voraussetzung hat. Daß der Seemann sich ohne die Gestirne nicht zurecht zu finden weiß, ist allbekannt, wenn auch auf diesem Gebiet die gerichtete Radiotelegraphie in den letzten Jahren ergänzend eingegriffen hat. Die Orts- und Zeitbestimmung bilden zweifellos die wichtigste Leistung der Himmelskunde für das praktische Leben.

Sie gestattet daneben vielseitige andere Anwendungen, so beispielsweise bei der Lösung mancher Aufgaben des Geschichtsforschers bei der Datierung von besonderen Ereignissen, bei deren Eintreten etwa eine Sonnen- oder Mondfinsternis stattfand. So ist es allein mit astronomischen Hilfsmitteln möglich gewesen, den berühmten Kanon des Ptolemäus auf die heute übliche Zeitzählung umzurechnen. Erstaunliche Leistungen hat die astronomische Chronologie bei der Datierung von Keilschrifttafeln zu verzeichnen gehabt, deren Deutung vielfach auf Tag und Stunde genau möglich war. Daß auch heutzutage noch in Gerichtsfragen astronomische Datierungen vorkommen, mag nur nebenbei erwähnt werden.

Ein erst in letzter Zeit mühsam erschlossenes Grenzgebiet der Astronomie bieten die meteorologischen Probleme, insofern es sich um die Deutung der noch heiß umstrittenen Witterungsperioden handelt. Auch auf diesem Gebiet war ein schöner Triumph insofern zu verzeichnen, als eine Datierung der früher nur sehr unsicher festgelegten Eiszeiten auf astronomischem Wege möglich war, es konnte sogar dabei die Frage nach dem Untergang des Abendlandes bei dem Eintritt der nächsten Eiszeit für Europa beantwortet werden. Diese meteorologischen Grenzfragen hängen auch mit denen der Polarlichter zusammen und schließlich damit, wie weit die körperliche Verfassung des Menschen vom Potentialgefälle und der Leitfähigkeit abhängt.

Am eindrucksvollsten werden uns die kosmischen Kräfte vorgeführt, wenn Sonne und Mond die Wassermassen der Erde in Ebbe und Flut um unseren Planeten herumführen. Gewiß haben wir noch andere Möglichkeiten, die allgemeine Massen-

anziehung zu demonstrieren, aber der kosmische Zusammenhang ist dabei weniger deutlich. Wir haben in diesem Sinne die Ballistik im Auge, bei der unter strengster Formulierung der Aufgabe ja auch die Geschosse als Trabanten unserer Erde betrachtet werden müssen, die sich auf ihrer Bahn allerdings bisher noch nicht von ihrem Hauptplaneten entfernen konnten.

I. Ballistische Beziehungen der Astronomie.

Die Ballistik von heute hat sich als Spezialgebiet einiger weniger Gelehrter, der von den technischen Truppen damit beauftragten Offiziere und einiger weniger Firmen derartig vom Interessenkreis der Allgemeinheit entfernt, daß man über ihr Wesen und Werden wenig weiß. Es wird daher überraschen, daß die großen Aufgaben der Ballistik gerade von hervorragenden Astronomen zuerst bearbeitet worden sind. Gehen wir dabei von den Fallgesetzen aus, so dürfen wir in erster Linie Galilei dafür in Anspruch nehmen, da diese Fallgesetze ja die Grundlage der Ballistik des luftleeren Raumes bilden. Die Berücksichtigung des Luftwiderstandes, die schwierigste Aufgabe der praktischen Ballistik wurde zuerst mit Erfolg von dem auch als Astronomen bekannten Mathematiker Euler in Angriff genommen. Hinsichtlich der Beschaffenheit des Trefferbildes und der Verteilung der einzelnen Schüsse am Ziel beruht die Ballistik auf der Fehlertheorie von Gauß und ihren praktischen Erweiterungen durch verschiedene Astronomen. Während des Weltkrieges hat einer der größten Astronomen unserer Tage, der leider an der Ostfront tödlich erkrankte Karl Schwarzschild eine Erweiterung der Ballistik im Hinblick auf die wichtigen „Tageseinflüsse", Wetter und Wind, gegeben, die vom Verfasser auf die Anforderungen der Front umgearbeitet wurde, sodaß auf diesem Gebiet eine allgemein anerkannte Überlegenheit über unsere Gegner erzielt wurde.

Betrachtet man die Bahn eines Geschosses im Hinblick auf ihre Lage zum Erdmittelpunkt, so ergibt sich durch einfache Berechnungen für den luftleeren Raum, daß diese Bahn genau genommen eine Ellipse ist und zwar so lange, als die Anfangsgeschwindigkeit unter 11 km in der Sekunde bleibt. Auch nach den Mitteilungen, die nach dem Kriege über französische und amerikanische Schießversuche durchgesickert sind, ist man zwar von der bei der Fernbeschießung von Paris erzielten Schußweite von 120 km ausgehend bis zu über 200 km und vielleicht noch weiter gelangt, aber Anfangsgeschwindigkeiten von über 2 km in der Sekunde sind mit Langrohrgeschützen, die man richtiger als Gewehre bezeichnen müßte, nicht erreicht worden. Die Frage, ob derart große Geschwindigkeiten wie 11 km/sec mit Geschützen im weitesten Sinne erreicht werden können, ist zu verneinen. Immerhin bleibt die Möglichkeit offen, auf einem anderen Wege einem Körper entsprechend große Geschwindigkeit zu erteilen, nämlich durch den Bau von Raketen. Schon bei 7,9 km in der Sekunde würde ein Geschoß oder eine Rakete die Erde als Trabant umkreisen — wenn das Geschoß in horizontaler Richtung abgefeuert würde und kein Luftwiderstand vorhanden wäre. — Der Luftwiderstand macht jedoch einen Strich durch die ganze Rechnung, und bei akademischer Diskussion der Frage, ob

ein lotrecht aufwärts abgefeuertes Geschoß gewöhnlicher Größe dauernd die Erde verlassen würde, wenn es mit außerordentlicher Anfangsgeschwindigkeit abgehen könnte, hat sich folgendes ergeben. C. Cranz führt in seinem Lehrbuch der Ballistik aus, daß es möglich ist, daß Geschosse von den tatsächlich angewandten Massen und Formen wegen des mit der Geschoßgeschwindigkeit wachsenden Luftwiderstandes niemals den Bereich der Anziehungskraft der Erde verlassen könnten, auch wenn sie mit der denkbar größten Anfangsgeschwindigkeit senkrecht in die Höhe geschossen würden. Wenn wir hiernach auch wohl hinsichtlich der Geschosse auf ein Nein rechnen dürfen, so liegt doch bei Raketen die Frage etwas anders.

Ehe wir uns diesem in letzter Zeit sensationell aufgemachten Problem zuwenden, möchten wir nicht unterlassen, darauf hinzuweisen, daß auch in der Ballistik die Rotationstheorie der Himmelskörper eine Anwendung findet, insofern wir es bei rotierenden Langgeschossen auch mit Präzessions- und Nutationsbewegungen zu tun haben, die sich übrigens, wie mancher Leser aus seinen Felderfahrungen bestätigen wird, dem Ohr unmittelbar verraten. Sie traten besonders deutlich bei dem Heulen mancher Granaten auf und machten sich bei den Geschossen der 42-cm-Haubitzen als tiefer Orgelton bemerkbar. Daß eine derartige Wahrnehmung möglich war, ist durch die große Umdrehungsgeschwindigkeit der Geschosse zu erklären, während wir am Himmel derartige Vorgänge nur sehr langsam ablaufen sehen; die Präzessionsperiode der Erdachse beträgt etwa 26000 Jahre und die Nutationsperiode etwa 19 Jahre.

Die Frage, mit einer Rakete zu den Planetenräumen vorzudringen, hat Prof. Hermann Oberth 1923 in einer durchaus wissenschaftlich ernsthaft gehaltenen Schrift einschließlich der Fragen untersucht, inwieweit der menschliche Körper imstande wäre, den bei den erforderlichen Beschleunigungen außerordentlichen Andruck auszuhalten.

Es liegen auch schon Raketenversuche von Prof. H. Goddard insoweit vor, als der Wirkungsgrad bei der Anwendung von rauchlosem Nitrozelluloſepulver bis zu 65% für Antriebszwecke ausgenutzt werden konnte. Die Auspuffgeschwindigkeiten, bis zu denen man hier gelangt ist, erreichten 2,4 km in der Sekunde. Wenn derartige Beschleunigungen lange genug wirksam sein können, so ist damit allerdings ein Anhaltspunkt zum Verlassen des Anziehungsbereiches unserer Erde wenigstens in theoretischer Hinsicht gegeben. Ob jemals eine solche Rakete wissenschaftliche Bedeutung erlangen wird, läßt sich heute noch nicht beurteilen. Jedenfalls sollte man nicht unterschätzen, daß die Rückstoßwirkung der ausströmenden Nitrozelluloſegase auch im luftleeren Raum vorhanden ist, worauf Oberth im Hinblick auf die praktischen Versuche von Goddard besonderen Wert legt. Auch wenn derartige Raketen nur unbemannt in den Weltenraum abgesandt werden könnten, wäre damit der Himmelsmechanik eine interessante Aufgabe gestellt.

II. Kalenderfragen.

Bei der engen Abhängigkeit der Landwirtschaft von den jahreszeitlichen Einflüssen ist es selbstverständlich, daß die Aufgabe einer Festlegung ihrer Wiederkehr eine der ersten der Astronomie war. Die Aufgabe läßt sich mathematisch so formu-

lieren, daß die Umlaufsdauer der Erde möglichst genau in Umdrehungen derselben ausgedrückt werden soll. Dabei sind diese Umdrehungen zu beziehen nicht auf einen festen Punkt am Himmel, sondern auf die Verbindungslinie von der Sonne zum Erdmittelpunkt, also auf die Dauer des mittleren Sonnentages. Uns allen ist geläufig, daß das Ergebnis dieser Beobachtungen die Bestimmung der Dauer des sogenannten tropischen Sonnenjahres zu $365^1/_4$ mittleren Erdtagen war.

Den Landmann interessierte aber auch schon früh die Periodik der Fruchtbarkeit seiner Haustiere, bei denen sich eine Beziehung zum Mondlauf, mindestens zu einer vierwöchigen Periode herausstellte. Hierdurch mag das Interesse auch auf den Begleiter unserer Erde gerichtet und der Wunsch nach einer Vorausberechnung seiner Stellungen entstanden sein. Selbstverständlich spielte auch die Erleuchtung der Nacht durch den Mond eine gewisse Rolle. Die neue Aufgabe, den synodischen Mondlauf von Neumond zu Neumond in Erdentagen auszudrücken, stellte sich daher schon verhältnismäßig früh heraus. Das Ergebnis der Beobachtungen, die Dauer des synodischen Monats von $29^1/_2$ Tagen, ist ebenfalls allgemein bekannt.

Die Kalender der verschiedenen Völker bevorzugten nun entweder einseitig die Sonne oder den Mond oder versuchten durch eine meist unglückliche Verquickung den Wünschen nach einer bequemen Vorausbestimmung der von beiden Lichtern abhängigen Einflüsse gleichzeitig gerecht zu werden.

Unseres Erachtens ist eine Verquickung dieser Art in ihren schädlichen Auswirkungen, die wir besonders bei dem beweglichen Osterfest beobachten, so verfehlt, daß mit allen Kräften daran gearbeitet werden muß, daß die im Gange befindlichen Kalenderreformen uns schließlich von dem unheilvollen Mond befreien.

Einen reinen Mondkalender von recht primitiver Form haben wir bei den Mohammedanern. Hier wird die Dauer des synodischen Monats zu $29^1/_2$ Tagen angenommen, d. h. den Monaten abwechselnd die Dauer von 29 und 30 Tagen gegeben. Ein solches rohes Mondjahr eilt dem Sonnenlauf jährlich um $11^1/_4$ Tage voraus. Da diese Abweichung niemals berichtigt wird, so wandern die Monate allmählich, und zwar schon in einem Menschenalter durch das ganze tropische Jahr hindurch. Der Fastenmonat fällt beispielsweise einmal in den Sommer und einmal in den Winter, eine Unordnung, die sich schon aus physiologischen Gründen in höheren Breiten bei stärkerem Kontrast der Jahreszeiten nicht durchführen ließe.

Das jüdische Mondjahr ist durch die Vorschriften des Moses, wonach am zweiten Ostertage frische Ähren geopfert werden mußten, mit dem Sonnenjahr so eng verbunden, daß derartige Fehler wie beim mohammedanischen Jahre nicht eintreten können. Das gebundene Mondjahr des jüdischen Kalenders ist daher mit Schaltjahren ausgestattet, die in einem 19jährigen Zyklus untergebracht sind. Wir haben ein mangelhaftes, ein regelmäßiges und ein überzähliges Gemeinjahr und Schaltjahr, also sechs verschiedene Arten von Jahren zu unterscheiden, deren Dauer 353, 354, 355 und andererseits 383, 384 und 385 Tagen entspricht. Die Zählung der Jahre erfolgt dabei nach der Schöpfungsära, die mit dem 7. Oktober des Jahres 3761 vor Chr. beginnt.

Der 19jährige Mondzyklus wurde bei dem Mondjahr der Griechen im Jahre 433 durch den Mathematiker Meton eingeführt. Es beruht auf der Übereinstimmung von 19 tropischen Jahren mit 235 Mondumläufen, die sich bis auf zwei Stunden entsprechen. Die Babylonier hatten ein gebundenes, aber besser durchgeführtes Mondjahr, worauf wir jedoch hier nicht näher eingehen können.

Unter den Sonnenkalendern steht der der Ägypter an erster Stelle, die ein Jahr von 360 Tagen mit 5 Ergänzungstagen benutzten. Die kleine Abweichung von einem Vierteltage bewirkte, daß der offizielle Jahresanfang in dem Zeitraum von 4×365 oder 1460 Jahren um ein volles Jahr zurückrückte. Mit Hilfe dieser sogenannten Sothisperiode, die im Jahre 137 nach Chr. vom Zusammenfallen beider Zyklen aus zu rechnen ist, läßt sich der ägyptische Kalender weit zurück rekonstruieren.

Ägyptische Anregungen wurden in dem römischen Kalender verwertet, den Julius Cäsar im Jahre 47 vor Chr. an die Stelle des fürchterlichen Durcheinanders setzte, das aus einem planlosen Mondkalender entstanden war. Wenn man sich auch durch den alexandrinischen Astronomen Sosigenes beraten ließ, so kam schließlich eine Kalendervorschrift heraus, die in bezug auf die Verherrlichung einer einzelnen Person das Menschenmögliche an Unpraktischem geleistet hat, was wir in der Kalendergeschichte kennen. Der schon zu kurz ausgefallene Monat Februar mit 29 Tagen mußte zu Ehren des Monats Julius, der früher Quintilis hieß, einen weiteren Tag hergeben und erreichte nur in den Schaltjahren die früher erträgliche Dauer von 29 Tagen. Es ist kläglich, daß wir diese Verherrlichung des einen Geschlechtes durch Jahrtausende zum Schaden der Übersicht der einzelnen Monate mitmachen mußten. Nachdem die Gegenwart begonnen hat, hier reformatorisch gesetzgeberisch einzusetzen, wollen wir im folgenden dieser Frage vom astronomischen Standpunkt aus etwas eingehender als sonst nähertreten.

Das gegenwärtige Kalenderproblem schließt sich an die Änderung an, die Papst Gregor XIII. durch seine Bulle „Inter gravissimas" an dem julischen Kalender vornahm. Dieser war allmählich durch die Abweichung der Dauer des tropischen Sonnenjahres von $365^1/_4$ Tagen mit dem tatsächlichen Eintritt der Jahreszeiten in Widerspruch geraten und machte daher die Ausschaltung von zehn Tagen notwendig, die offiziell in der Weise bewirkt wurde, daß auf den 4. Oktober 1582 julisch der 15. Oktober gregorisch folgte (die sonst gebräuchlichen Bezeichnungen wie julianisch und gregorianisch sind augenscheinlich sprachliche Mißbildungen). Der Papst benutzte damals unter astronomischer Beratung die Gelegenheit zu einer weitergehenden Verbesserung des Schaltzyklus in der Weise, daß die vollen Jahrhunderte nur dann Schaltjahre sein sollten, wenn sie sich durch 400 ohne Rest teilen ließen. Dadurch wurde eine für die damalige Zeit erfreulich genaue Annäherung an die Dauer des tropischen Jahres erzielt.

Eine solche Annäherung kann nun nicht für alle Zeiten gleich genau erfolgen, da das tropische Jahr kleinen Veränderungen ausgesetzt ist. Da es sich hier um eine Grundfrage dreht, so geben wir nachstehend eine Übersicht seiner Dauer für einige wichtige Jahre zugleich mit dem Fehler, den die gregorische Reform im Laufe der Zeit erreichen wird.

Jahr nach Chr.	Dauer des tropischen Jahres d	Abweichung des greg. Kalenders d
1	365,242 315	0,00
325	295	0,06
400	291	0,08
1582	218	0,37
1922	197	0,47
2000	193	0,49
2400	161	0,62
2800	144	0,76
3200	119	0,90
3600	094	1,06
4000	365,242 070	1,23

Dieser Tabelle liegen die Elemente der Erdbahn von Newcomb zugrunde. Die Unsicherheit der Dauer des tropischen Jahres ist auf etwa drei Einheiten der sechsten Stelle zu schätzen. Die Übersicht läßt erkennen, daß die bei der gregorischen Reform zugrunde gelegte Jahresdauer von 365,^{d}242500 zwar etwas groß, aber doch sonst recht genau ist. Mehr empfehlen würde sich ein von Ch. F. Marvin bei einer Diskussion der Kalenderfragen besprochener Vorschlag, nicht drei Tage in 400 Jahren auszuschalten, sondern vier Tage in 500 Jahren. Ein solcher Vorschlag würde erst im Jahre 13000 einen Fehler von einem Tage hervorbringen, wo der gregorische Kalender schon eine Abweichung von 7,6 Tagen bewirkt haben wird.

Es scheint zwar, daß wir uns heute um diese fernen Jahrtausende noch keine Sorge zu machen brauchten. Wenn wir jedoch berücksichtigen, daß die julische Kalenderreform bald anderthalb Jahrtausend, zum Teil fast zweitausend Jahre zu Recht bestanden hat, so dürfte sich doch wohl heute schon eine grundlegende Diskussion dieser Frage empfehlen, die dann zu einer einheitlichen Regelung für die ganze Erde führen soll. Es ist von besonderem Interesse festzustellen, daß im Jahre 1923 in den östlichen Kirchen eine Kalenderreform bewirkt wurde, die hinsichtlich der Darstellung der tatsächlichen Genauigkeit des tropischen Jahres den gregorischen Reformvorschlag übertrifft. Auch hier wurde im Oktober die Schaltung bewirkt in der Weise, daß auf den 1. Oktober gleich der 14. Oktober des neuen Stiles folgte. Die ausgefallenen Feiertage wurden alle zusammen auf den 14. Oktober verlegt. Man schloß sich im wesentlichen dem gregorischen Kalender an, dessen mangelhaften Februar man beibehielt. Die Schaltregel für die Jahrhunderte weicht jedoch von der bisherigen ab, da diese nur dann als Schaltjahre gelten sollen, wenn sie bei der Division durch 9 den Rest 2 oder 6 geben. Eine Abweichung vom Bisherigen tritt im Jahre 2800 ein, wo nach diesem Kalender noch nicht geschaltet wird, sondern erst 2900. Bis diese Frage akut wird, ist aber hoffentlich ein allgemein brauchbarer Kulturkalender geschaffen worden.

Vorgreifend erwähnen wir hier sogleich den dabei gemachten unglücklichen Versuch, mit dem Osterproblem fertig zu werden. Anstatt sich nämlich der Lilius-schen Osterregel anzuschließen, die in einfacher Weise zyklisch die Mondphasen in leidlich befriedigender Übereinstimmung mit den astronomischen Tatsachen festlegt, hat sich hier das Konzil von Konstantinopel zugunsten der astronomischen Berechnung

des Ostervollmondes (bezogen auf Jerusalem) entschieden. Der ökumenische Patriarch wird die Sternwarten von Athen, Belgrad, Bukarest und Pulkowa beauftragen, auf lange Frist hinaus Ostertafeln zu berechnen, die dann allen orthodoxen Kirchen zur Verfügung gestellt werden sollen.

Viel wichtiger als die unmögliche Verquickung des Mondlaufes mit unserem reinen Sonnenkalender ist die Berücksichtigung der siebentägigen Woche bei gleichzeitiger Neuordnung der Monatslängen. Wir können uns heute einer Verherrlichung Julius Cäsars auf Kosten des armen Monats Februar gewiß nicht mehr anschließen. Der hochberühmte Meteorologe Prof. Koeppen hat sich in diesem Sinne für eine Neuordnung eingesetzt, die in folgenden wenigen Worten zusammengefaßt ist:

„Jedes Jahr, und in Schaltjahren jedes Halbjahr, beginnt und schließt mit einem Sonntag. — Der erste Monat jedes Vierteljahres hat 31 und kein Monat weniger als 30 Tage. Der 365ste Tag oder 31. Dezember bleibt außerhalb der Wochentagzählung und in Schaltjahren entsprechend der 31. Juni." — Ostern soll, was hier nur nebenbei erwähnt sei, auf den 8. April gelegt werden.

Diese Anordnung ist auf große Schwierigkeiten gestoßen, weil sie sich von der durch die Jahrtausende geheiligten Wochentagszählung entfernen will. Als Ausweg freudig begrüßt wurde der Vorschlag des Astronomen G. M. Searle, der später als Obergeneral der Kongregation der Pauliſten gewählt wurde. Er konnte zeigen, daß sich auch diese Kalamität in dem gregorischen Zyklus von 400 Jahren entsprechend 20871 Wochen beseitigen läßt. Er wurde dadurch auf den immerhin beachtenswerten Vorschlag geführt, in einem besonderen Zyklus Jahre zu 52 mit solchen zu 53 Wochen abwechseln zu lassen. Die Schaltregel wäre dann folgende: Jedes Jahr, dessen Zahl auf eine 5 oder 0 endet, ist ein gewöhnliches Jahr, ausgenommen, wenn es auf 50 oder 00 endet und wenn es einen neuen Zyklus beginnt. Wir verkennen nicht die Nachteile, die sich hierbei hinsichtlich der Reform der Monatsverteilung ergeben, halten aber dafür, daß diese Anregung vielleicht irgendwie anderweitig von Bedeutung sein kann.

Die gegenwärtige Lage läßt sich abschließend folgendermaßen nach zwei Haupt- und zwei Nebenfragen spezialisieren:

Die beiden Hauptfragen betreffen 1. die Festlegung des Osterfestes überhaupt und weiter, ob diese ohne Änderung des Kalenders möglich ist, und 2. die Angelegenheit der Jahre zu vollen Wochen bzw. der Einfügung von Blankotagen, um nach dem Koeppenschen Vorschlag einen bequemen, „ewigen Kalender" zu haben.

Die beiden Unterfragen wären dahin zu formulieren, ob 1. die Länge der Monate geändert werden soll, und zwar wie, und 2. in welcher Weise die christlichen Feste in dem neuen Kalender untergebracht werden sollen.

III. Astronomische Chronologie.

Die astronomische Chronologie ist mit dem Kalenderproblem aufs engste verwandt und bildet einen Abschnitt gemeinsamer Arbeit des Historikers, Archäologen und Astronomen. In vielen Fällen ist die Datierung weit zurückliegender Ereignisse einzig und allein durch astronomische Beziehungen gegeben. Diese können nur dann

in vollem Umfange ausgewertet werden, wenn der Astronom zugleich Historiker ist und der Geschichtsforscher Kenntnisse in der Himmelskunde besitzt. Nicht immer liegen die Verhältnisse so einfach wie etwa bei der Schlacht von Pydna, die durch eine Mondfinsternis datiert ist, und nur durch umsichtige Erwägung aller Anzeichen lassen sich Anhaltspunkte für astronomische Berechnungen finden.

Hier dürfen wir das Interesse unserer Leser auf eine Aufgabe lenken, zu deren prinzipieller Entscheidung zwar in keiner Weise Stellung genommen werden soll, die aber als Beispiel für derartige Berechnungen besonders lehrreich ist. Wir meinen den sogenannten Stern der Weisen, von dem im zweiten Matthäuskapitel die Rede ist. Läßt man eine astronomische Deutung dieser von einigen nur auf ein Wunderzeichen bezogenen Sternerzählung zu, so wird man mit Kepler auf jene dreifache Zusammenkunft der Planeten Jupiter und Saturn geführt, die schätzungsweise als sehr selten bezeichnet werden darf, sich aber auch, wie im laufenden Jahrhundert, serienweise häufen kann. Unbestritten handelt es sich um eine sehr auffällige Himmelserscheinung. Wir übergehen an dieser Stelle Einzeluntersuchungen des Verfassers seit 1911 und weisen nur auf eine zusammenfassende Darstellung von O. Gerhardt hin, aus der hervorgeht, daß es sich bei dem Stern des Messias tatsächlich um keine andere Konstellation gehandelt haben kann als die obenbezeichnete, die im Sommer und Herbst des Jahres 7 vor Chr. eintrat. Auf diese Weise wäre eine zwar wissenschaftlich interessante, aber praktisch bedeutungslose Berichtigung unserer Jahreszählung gegeben, deren Hauptnachteil dadurch nicht beseitigt wird, nämlich die Notwendigkeit, mit negativen Jahreszahlen zu arbeiten.

Ein anderes Beispiel für die Chronologie im astronomischen Sinne bietet auch das Todesdatum Christi, bei dem im jüdischen Kalender der 15. Nisan des Mondkalenders auf einen Freitag, eben den Karfreitag, fallen muß. Unter den verschiedenen Möglichkeiten der historisch begrenzten Zeitspanne wählt die astronomische Berechnung nunmehr einwandfrei den 7. April des Jahres 30 aus, da nur für diesen Tag die Sichtbarkeitsbedingungen am Anfang des Monats mit der Wochentagszählung im erforderlichen Umfange harmonieren.

Die wichtigsten Datierungen der astronomischen Chronologie beruhen auf Sonnen- und Mondfinsternissen, für die Theodor von Oppolzer einen „Kanon der Finsternisse" aufgestellt hat, der nicht weniger als 8000 Sonnenfinsternisse und 5200 Mondfinsternisse vom Jahre 1208 vor Chr. bis 2161 bzw. 2163 nach Chr. umfaßt. Die Sammlung von 160 Karten, die diesem bewunderungswürdigen Werke beigegeben ist, wurde weiter ergänzt durch Berechnungen von Ginzel und Schröter, die für den Historiker von unschätzbarem Werte sind.

Unerwarteterweise gestatten diese Zusammenstellungen auch zu erkennen, daß manche Finsternisse zu den historisch angegebenen Tagen überhaupt nicht stattgefunden haben, sondern zyklisch konstruiert worden sind. Als Beispiel mögen die Finsternisse am Erbauungstage Roms und beim Tode des Romulus erwähnt werden, die beide in Rom unsichtbar waren. Berühmte Datierungen von Schlachten durch Finsternisse fanden etwa statt hinsichtlich der Schlacht am Halys am 28. Mai 585 vor Chr., die Thales den Joniern vorhergesagt hatte, dann hinsichtlich der Sonnenfinsternis bei der Abfahrt der athenischen Flotte am 3. August 431 vor Chr.

Die Schlacht bei Gaugamela wurde durch eine vollständige Mondfinsternis, die während des Verlaufes stattfand, auf den 20. September 331 vor Chr. festgelegt.

Beispiele für Planetenkonstellationen und den Mondlauf lassen sich aus der Keilschriftenliteratur zusammenstellen; eine der ältesten Vorausberechnungen dieser Art, die also schon langjährige Beobachtungen voraussetzt, haben wir aus dem Jahre 425 vor Chr.

Für die Beurteilung des Zeitpunktes der Entstehung von Astralmythen kommt wesentlich der Einfluß der Präzession in Betracht, durch den sich die Lage der Fixsterne in bezug auf den Frühlingspunkt langsam verändert. Die hierbei erzielbare Genauigkeit ist natürlich gering, da der Frühlingspunkt erst in 72 Jahren einen Grad zurückgeht. Neuerdings haben in diesem Sinne die sogenannten Steinkalender das allgemeine Interesse besonders auf sich gelenkt, bei denen auch die Sehlinien nach dem Aufgangspunkt besonders wichtiger Sterne auf der Erde fixiert sind, womit ebenfalls eine Datierungsmöglichkeit gegeben ist. Sehr unsicher ist allerdings eine zeitliche Festlegung dieser Art, die etwa auf die Bestimmung der Schiefe der Ekliptik begründet wird, weil die Schiefe der Ekliptik sich sehr langsam und in nicht immer eindeutiger Weise (wegen periodischer Schwankungen) ändert. Chronologisch am bedeutsamsten sind die Datierungen am Fixsternhimmel, die mit Hilfe der Frühaufgänge des Sirius oder, wie er in diesem Falle genannt wurde, Sothis, bei den alten Ägyptern zur Beurteilung der Wasserverhältnisse des Nil benutzt wurden.

IV. Astronomische Ortsbestimmung.

Die praktische Anwendung der Astronomie in der Ortsbestimmung läßt sich bis ins graue Altertum zurückverfolgen, hat doch schon Odysseus nach der Schilderung des Homer sich der Gestirne bei seinen Seefahrten bedient. Die Festlegung von Richtungen bildet jedoch nur einen kleinen Teil der astronomischen Ortsbestimmung, deren Hauptziel vielmehr die Festlegung von bestimmten Punkten auf der Erdoberfläche in einem einmal als zweckmäßig erkannten System ist. Dieses ist einfach durch die Umdrehung der Erde um eine bestimmte Achse und die Vereinbarung eines Anfangsmeridianes für die Zählungen auf dieser Kugel bestimmt.

Bei sehr sorgfältigen Messungen stellt sich heraus, daß die Erdachse scheinbare Schwankungen in der Weise erleidet, daß der astronomische Pol in bezug auf eine mittlere Lage im Bereiche einiger Meter periodische Wanderungen ausführt, die man als Polhöhenschwankungen bezeichnet und deren Verfolgung eine wichtige Aufgabe der internationalen Zusammenarbeit einer Reihe von Stationen war, die in zweckmäßiger Anordnung über die ganze Erde verteilt waren. Die Aufklärung dieser Polhöhenschwankungen ist noch nicht unter allgemeiner Anerkennung erfolgt; es scheint sich dabei um geringe Massenverlagerungen zu handeln, die vielleicht schon durch Verschiebung warmer und kalter Luftmassen der Atmosphäre erklärt werden können.

Ist einmal die Vereinbarung über den Anfangsmeridian getroffen, also das System, auf das die einzelnen Teile der Erde abgebildet werden sollen, festgelegt, so tritt sofort die praktische Frage an uns heran, wie denn diese Abbildung bewirkt werden sollte. Die Kartenprojektionslehre unterscheidet nach den ältesten Versuchen

zunächst die Abbildung auf einfach abwickelbare Flächen, wie Zylinder oder Kegel, und dann die perspektivischen Projektionen. Unter diesen hat astronomisch die sogenannte orthographische Projektion die größte Bedeutung, weil hier der Beobachter die Kugel aus dem Unendlichen anschaut und die Zeichenebene senkrecht zu den unter sich parallelen Projektionsstrahlen angenommen wird. Bei der stereographischen Projektion befindet sich der Augpunkt nicht mehr im Unendlichen, sondern auf irgendeinem Punkt der Kugel, d. h. in diesem Falle der Erdoberfläche. Der stereographischen Projektion sind die Eigenschaften nachzurühmen, daß bei ihr alle Kugelkreise, welche nicht durch den Augpunkt gehen, wieder als Kreise erscheinen und daß im besonderen alle Winkel auf der Kugeloberfläche gleich den Winkeln in der Projektion sind, weswegen man diese Projektion winkeltreu nennt. Schon aus der Zeit des Thales scheint die sogenannte Zentralprojektion herzurühren, die man auch als gnomonisch bezeichnet, weil sie schon bei alten Sonnenuhren benutzt wurde. Für die Landkartenzeichnung hat sie den Vorteil, daß die größten Kreise der Kugel hier durch gerade Linien wiedergegeben werden. Bei der Zentralprojektion ist der Augpunkt von der Oberfläche der Kugel bis zu deren Mittelpunkt vorgedrungen. Je nach Lage der Projektionsfläche kann man hier wie bei den anderen Projektionen beliebige Kartenformen herstellen. Es würde hier zu weit führen, besondere Einzelheiten wie die sogenannte loxodromische Karte der Seefahrer oder die beliebte Mercatorkarte näher zu erläutern. Zu der Eigenschaft der Winkeltreue wurde in neuerer Zeit noch die der Flächentreue hinzugenommen, für die eine herzförmige Projektion übrigens schon Ende des 15. Jahrhunderts erfunden sein dürfte. Der Wert der flächentreuen Karte wurde allerdings erst durch Lambert erkannt, der als erster die mathematischen Gesetze der Kartenprojektion eingehend erforschte. Wir verdanken ihm die flächentreue Azimutalprojektion. Im besonderen hat sich die Kartenprojektion später als Zweig der militärischen Wissenschaften entwickelt und ist von den Generalstäben der einzelnen Länder besonders gepflegt worden. Es handelt sich dabei aber nicht mehr um die Abbildung sehr großer Erdabschnitte, sondern kleiner Gebiete unter Berücksichtigung praktischer Gesichtspunkte. Die Auswahl der Projektion mit geringster Verzerrung läßt sich in besonderen Fällen immer nur dann treffen, wenn man die Einzelforderungen der betreffenden Aufgabe näher berücksichtigt.

Hat man eine Projektion ausgewählt, so handelt es sich nun darum, die Lage der einzelnen Erdorte festzulegen, um diese danach in die Karte eintragen zu können. Sehr einfach ist dabei die Bestimmung der geographischen Breite bzw. der Winkelabweichung des Erdortes vom Äquator, während die Längenbestimmung, also die Festlegung des Winkelunterschiedes zwischen dem Meridian des betreffenden Erdortes und dem vereinbarten Anfangsmeridian weit schwieriger ist.

Wir werfen nunmehr einen flüchtigen Blick auf die Lösungsmöglichkeiten der beiden Teilaufgaben. Es kann dabei nicht im einzelnen hervorgehoben werden, wie man etwa am zweckmäßigsten als Forschungsreisender beispielsweise in einem Wüstengebiet vorzugehen hat, oder wie man auf dem Wasser oder in der Luft am besten arbeitet. Die Grundgedanken sind stets die gleichen, wenn auch die Durchführung, besonders unter Zuhilfenahme der drahtlosen Telegraphie, sich verschiedenartig gestalten kann.

Die geographische Breite des Beobachtungsortes ist einfach durch die ihr gleiche Polhöhe festgelegt, mit anderen Worten, die Höhe des Himmelspoles, d. h. des Drehpunktes der bis zum Himmel verlängert gedachten Erdachse über dem Gesichtskreise. Diese Polhöhenbestimmung kann manchmal schon durch Schätzung erfolgen, wenn man den geringen Winkelabstand des Hauptsterns des kleinen Bären vom wahren Himmelspol berücksichtigt. In einfacher Weise wird die Winkelhöhe des Poles etwa mit dem Sextanten oder mit dem Universalinstrument bestimmt, das Horizontal- und Vertikalwinkel zu messen gestattet. Statt des Polarsterns kann auch jeder beliebige andere Stern im Meridian benutzt werden, dessen Abweichung vom Himmelspol bekannt ist. Beispielsweise ist für einen Stern, der durch den Scheitelpunkt geht, die Abweichung vom Himmelsäquator gleich der Ergänzung der Polhöhe zu 90°. Bei Tage kann statt der Sterne auch die Sonne benutzt werden, deren Stellungen ja in den astronomischen Kalendern angegeben werden.

Die Bestimmung der Zeit, und zwar eigentlich zunächst der Sternzeit am Beobachtungsorte, erfolgt, solange man auf Höhenmessungen allein angewiesen ist, wie dieser Fall ja auf dem Wasser und in der Luft hauptsächlich vorliegt, am zweckmäßigsten in der Nähe des Ersten Vertikals, d. h. jenes größten Kugelkreises, der senkrecht zur Meridianebene durch den Scheitelpunkt geht und den Ost- und Westpunkt am Himmel festlegt. Im Ersten Vertikal sind die Höhenänderungen der Sterne mit der Zeit am größten, so daß man hier aus Höhenbeobachtungen die Zeit am genauesten finden kann.

Hat man außer Höhenmeßinstrumenten wie Sextanten oder Quadranten auf festem Boden auch Passageninstrumente, Theodolite oder Universale zur Verfügung, so kann man auch statt der Höhenmessungen die Zeiten bestimmen, zu denen die Sterne die Nord-Südrichtung passieren. Hierauf beruht wesentlich die Zeitbestimmung auf den Sternwarten, und zwar wird gewissermaßen die Sternzeit direkt vom Himmel abgelesen. Da die Sternzeit im mittleren Mittag durch andere Beobachtungen und Berechnungen bekannt ist, kann daraus leicht die mittlere Zeit berechnet und diese wieder nach Belieben auf einen vereinbarten Meridian bezogen werden. Die Bestimmung der geographischen Länge des Beobachtungsortes bedeutet im Grunde genommen weiter nichts als den Unterschied der Sternzeiten von seinem Durchgang eines Sternes durch den einen Meridian bis zu seinem Durchgang durch den nächsten Meridian. Es liegt auf der Hand, daß hiernach die Längenbestimmung eines Beobachtungsortes eine direkt unlösbare Aufgabe ist, der man nur indirekt durch besondere Hilfsmittel beikommen kann. Dieses geschieht im übertragenen Sinne in der Weise, daß man gewissermaßen an beiden Beobachtungsorten die gleiche Uhr benutzt. Dies kann in der Weise geschehen, daß man buchstäblich (allerdings nicht eine, sondern viele) Uhren von einem Beobachtungsort zum anderen trägt und dann am anderen Beobachtungsort die genau entsprechenden Beobachtungen macht. Bei diesem brutalen Verfahren der Chronometerübertragung ist man unentrinnbar allen Einflüssen verfallen, denen Uhren überhaupt unterworfen sind. Schon wesentlich besser gelingt die Längenbestimmung bei Zeitübertragung auf telegraphischem Wege bzw. durch drahtlose Telegraphie. Diese gestattet es, alle Uhren der Erde einheitlich miteinander gleichzeitig zu verbinden und damit die Längenunterschiede mit größter Genauigkeit festzulegen. Die Rundfunkteilnehmer

unter den Lesern wollen übrigens berücksichtigen, daß man sich hierbei nicht auf die Vergleichung der einfachen Sekundenzeichen beschränkt, sondern durch ein Koinzidenzverfahren die Genauigkeit bis zur hundertel Sekunde und vielleicht noch weiter steigern kann.

In besonderen Fällen wird etwa der Forschungsreisende im Inneren Afrikas nicht imstande sein, diese allgemeine Uhr zu benutzen und sich nach einem Ersatz dafür umsehen müssen. Es bieten sich ihm hauptsächlich zwei andere Uhren dar, von denen bei der einen der Erdmond der Zeiger ist und bei der anderen der „erste" Jupitermond. Es liegt auf der Hand, daß derartige Zeitbestimmungen nur verhältnismäßig selten ausführbar und vergleichsweise sehr ungenau sind. Unser Mond legt ja seinen Durchmesser in etwa einer Stunde zurück und diesem Tempo erscheinen die Beobachtungsfehler entsprechend zeitlich vergrößert. In Ausnahmefällen können auch Bedeckungen heller Sterne durch den Mond oder Mondfinsternisse zu beiläufigen Längenbestimmungen herangezogen werden.

Während wir bisher die geographische Ortsbestimmung in dem Sinne im Auge hatten, daß gewissermaßen voraussetzungslos Länge und Breite bestimmt werden sollten, hat im besonderen der Seemann meistens aus vorhergehenden Bestimmungen des Schiffsortes schon einen Anhalt dafür, wo er sich auf dem Meere befindet. Er verwendet daher das sogenannte Standlinienverfahren, bei dem er für den gegißten Schiffsort und die tatsächlich beobachteten Sterne die Höhen über dem Horizont berechnet und aus den kleinen Abweichungen zwischen seiner tatsächlichen Messung und dieser Berechnung die Verschiebung gewinnt, die vom angenommenen bis zum tatsächlichen Schiffsort zur Zeit der Beobachtung notwendig ist. Dieses Verfahren der Sumnerlinien ist in der Navigation vielfach in Gebrauch.

Die Entstehung der Landkarten selbst erfolgt nun nicht etwa in der Weise, daß man für jeden einzelnen Punkt eine exakte Bestimmung seiner geographischen Länge und Breite ausführt, sondern dies geschieht nur für eine Reihe trigonometrischer Punkte, die man selbst je nach ihrer Bedeutung in verschiedene Klassen oder Ordnungen einteilt. An dieses Netz knüpft die praktische Kartenzeichnung mit Meßtisch und Kippregel in der Weise an, daß von verschiedenen Standorten aus die Richtungen nach für die Karte wichtigen Punkten eingezeichnet und in den entsprechenden Schnittpunkten dann die Kartenelemente selbst eingetragen werden.

Dieses außerordentlich mühsame und zeitraubende Verfahren ist durch deutsche Erfindungen, die wesentlich durch die Erfordernisse des Weltkrieges angeregt wurden, im wesentlichen überwunden worden. Durch die Erfindungen von Prof. Hugershoff mit seinem Autokartographen und Dr. Bauersfeld mit seinem Stereoplanigraphen sind wir durch allgemeinste Anwendung des Verfahrens, des sogenannten Vorwärtseinschnittes bzw. Rückwärtseinschnittes im Raum, imstande, derartige sonst im Gelände mühsam durchgeführte Zeichnungen heute auf Grund von Aufnahmen aus dem Flugzeug bequem in einem Zimmer eines geodätischen Institutes automatisch auszuführen. Der Beobachter schaut mit beiden Augen in die Apparate wie in ein Stereoskop hinein und bewegt durch räumliche Schlitten jeden beliebigen Punkt der Landschaft auf die wandernde Marke im Gesichtsfeld und verlegt dadurch den Zeichenstift auf der Karte auf den maßstäblich entsprechenden Punkt. Die

Geschwindigkeit der Kartenherstellung nach diesen genialen Methoden ist so viel größer als die frühere — bei mindestens gleicher Genauigkeit —, daß der praktische Kartograph die Einführung dieser Geräte geradezu als Erlösung empfindet, besonders wenn es sich um die Wiedergabe von Gebirgsgegenden handelt.

Man darf jedoch nicht annehmen, daß diese wesentlich auf Flugzeugaufnahmen der Erde berechneten Methoden auch für astronomische Zwecke, etwa zur Kartierung des Mondes, in Betracht kämen. Dazu ist im allgemeinen die Basis zu kurz bzw. zu lang, und hat sich überdies der Mond von der ersten zur zweiten Aufnahme zu weit aus der Anfangslage durch die sogenannte Libration herausgedreht.

Bei Mars und Jupiter sind die Sehstrahlen so nahe parallel, daß man hier die früher erwähnte orthographische Projektion stets direkt vor sich hat. Der Entwurf des Kartennetzes ist daher verhältnismäßig einfach, und man kann die Lagebezeichnungen der einzelnen Gebilde etwa auf Mars einfach danach durchführen, daß man die berechnete Figur des Kartennetzes, etwa auf durchscheinendem Papier wiedergegeben, direkt auf die am Fernrohr gewonnene Skizze legt. Eine Kleinigkeit sollte dabei nicht unbeachtet bleiben, nämlich die Anwendung der Bezeichnungen der Himmelsrichtungen Ost und West. Diese können gerade bei Mars entgegengesetzt verstanden werden wie bei uns, je nachdem man Ost und West auf unseren oder den betreffenden Planetenhimmel bezieht.

V. Meteorologische Probleme.

Wenn auch die Meteorologie sich heute als selbständige Wissenschaft entwickelt hat, so kann sie doch nirgends den engen Zusammenhang mit der Astronomie verleugnen, als deren Tochterwissenschaft sie erst im vergangenen Jahrhundert volles akademisches Bürgerrecht erlangte. Hier kann es nicht unsere Aufgabe sein, die noch vielfach im Stadium der Diskussion befindlichen großen Angelegenheiten der praktischen Meteorologie zu erläutern, die hauptsächlich auf dem Gebiete der Wettervorhersage liegen, sondern es wird sich mehr darum handeln, ihren Zusammenhang mit astronomischen Tatsachen in großen Umrissen aufzuzeigen.

Die Wichtigkeit der Abwechslung in Jahres- und Tageszeiten auf unserer Erde wird uns erst im vollen Umfange klar, wenn wir die Verhältnisse auf unserem Planeten mit denen anderer Wandelsterne vergleichen. Bei Mars haben wir zwar fast die gleiche Neigung seiner Umdrehungsachse gegen die Bahnebene, die Bahn selbst ist aber wesentlich exzentrischer, wodurch ein stärkerer Kontrast von Sommer und Winter hervorgerufen wird, als er bei unserer Erde während der letzten zehn Millionen Jahre eintrat. Wie wichtig auch die Dauer der Jahreszeiten im Hinblick auf die Strahlungssummen ist, die die beiden Halbkugeln des Planeten empfangen, wird sich bei der Erklärung der Eiszeiten in den letzten sechshunderttausend Jahren zeigen. Berücksichtigen wir zum Vergleich den Planeten Jupiter, bei dem die Umdrehungsachse fast genau senkrecht auf der Bahn steht, so haben wir dort in allen Breiten fast dieselben Verhältnisse wie am Äquator, d. h. keine Jahreszeiten und nur eine polwärts erheblich abnehmende Einwirkung der Sonne. Ziehen wir dagegen die Venus zum Vergleich heran, bei der wir eine geringe Neigung der Umdrehungsachse gegen die Bahnebene anzunehmen geneigt sind, so haben wir dort so überaus

große Unterschiede von Sommer und Winter, daß die Verhältnisse mit den irdischen überhaupt nicht mehr verglichen werden können. Daraus erhellt die Wichtigkeit einer mittleren Achsenneigung für eine abwechslungsreiche Verteilung der Sonnenstrahlung, die wohl erst imstande ist, die Vielgestaltigkeit der Flora und Fauna unseres Planeten hervorzubringen.

Von allergrößter Bedeutung ist dabei selbstverständlich die den Planeten umgebende Gashülle, die von der Sonnenstrahlung in mehr oder minder lebhafte Zirkulation gebracht wird Vor allem ist dabei zu beachten, daß die Erwärmung der Atmosphäre zum allergrößten Teile nicht auf direktem Wege durch die Sonnenstrahlung erfolgt, sondern indirekt vom Boden des betreffenden Planeten aus. Bei der sehr dünnen Atmosphäre des Mars macht sich diese Wirkung allgemein deutlicher bemerkbar, als wir sie auf unserer Erde nur an besonderen Stellen im Hochgebirge beobachten können. Eine dunkel gefärbte Fläche verschluckt wesentlich mehr von der Sonnenstrahlung als ein helles, etwa von Schnee bedecktes Gebiet. Dieses hat daher auch auf die Temperatur der darüberliegenden Atmosphärenschicht einen durchaus anderen Einfluß. Am deutlichsten dokumentiert sich der Einfluß, wenn die Temperatur in der Nähe des Sättigungspunktes für Wasserdampf bzw. des Gefrierpunktes von Wasser liegt. Ein sonst dunkles Gebiet kann dadurch am Morgen reifbedeckt und strahlend weiß aus der Nacht hervortauchen, wie man das besonders beim Mars gelegentlich verfolgen kann.

Für die Zirkulation der Gashülle unserer Erde erweist sich die Verteilung der eingestrahlten Sonnenwärme als wesentlich, die bemerkenswert verschieden ist, je nachdem wir Wasser oder Erde als Oberfläche in Betracht ziehen. Die gleiche Wärmemenge bringt eine gewisse Masse Erde in der gleichen Zeit zu erheblich höherer Temperatur, als die gleich große Wassermasse. Über der großen Landmasse wird dadurch die Luft stärker geheizt als über dem Wasser, und die Zirkulation, die im einfachsten Falle als Land- und Seewind bekannt ist, setzt ein. Dabei erfolgt die Heizung der Erdgebiete durch die Sonne um so stärker, je steiler ihre Strahlen darauf fallen. Die Temperaturunterschiede der Luft am Boden wirken sich weiter in Luftdruckunterschieden aus, insofern, als ja die wärmere Luft leichter ist als die kalte. Hierin liegt der unmittelbare Anstoß zum Beginn des Austausches von warmer und kalter Luft, der uns als Wind bekannt ist. Die Verteilung des Luftdruckes auf der ganzen Erde läßt sich nach diesen einfachen Überlegungen folgendermaßen verstehen.

In der Nähe des Erdäquators, als dem wärmsten Teil der Erde, haben wir dauernd verhältnismäßig niedrigen Luftdruck, den Gürtel der sogenannten Kalmen. Diese verschieben sich der jahreszeitlichen Änderung der Erwärmung der Erde entsprechend im Sommer nach Norden und im Winter nach Süden, wobei sie jedoch etwa ein Vierteljahr hinter dem Höchst- bzw. Tiefstand der Sonne zurückbleiben. Entsprechend haben wir in den Polargebieten im weitesten Sinne verhältnismäßig hohen Luftdruck. Dieser ist jedoch nicht so leicht zu erkennen wie der Kalmengürtel, da infolge der Umdrehung der Erde die Zirkulation in mittleren und höheren Breiten einen Abfluß der kalten Luft unter lebhafter Wirbelbildung begünstigt. Wir stehen hier der sogenannten Polarfront gegenüber, deren Einwirkung in der Meteorologie unserer Tage mit besonderem Erfolge erforscht wird.

An die Kalmengürtel der Erde schließt sich beiläufig unter dem 30. Breitengrad je ein Gebiet hohen Luftdruckes an, das sich im Sommer, wo ja das Meer kühler ist als das Festland, wie oben erläutert wurde, inselförmig abrunden kann, während im Winter diese sogenannten „Roßbreiten" als Bänder ausgebildet erscheinen. In niederen Breiten werden durch den Einfluß der Jahreszeiten Winde von halbjähriger Periode hervorgerufen, die man als Monsune bezeichnet und die an der Ostküste Asiens bis gegen 50 Grad Nordbreite hinaufreichen. Der Wechsel der Monsune, die in den Monaten Dezember bis Februar und Juli bis September am kräftigsten wehen, fällt in die Zeit der Nachtgleichen. Man beobachtet Monsune hauptsächlich im nördlichen Indischen Ozean, in den chinesischen und japanischen Gewässern, ferner in den Meeresteilen nördlich von Australien, an der westafrikanischen Küste usw.

Von hervorragender praktischer Bedeutung sind die an den Randgebieten der sonst ruhigen Zonen auftretenden tropischen Wirbelstürme, die auf Nordbreiten im Juli, August und September, auf südlichen Breiten dagegen im Januar, Februar und März am schlimmsten wüten. Die wichtigsten Gebiete ihres Auftretens sind Westindien, die Bucht von Bengalen, die Philippinen, die Umgebung von Mauritius und die Südsee.

Ihre praktische Bedeutung braucht an dieser Stelle kaum unterstrichen zu werden, da sie Verluste von Hunderten von Menschenleben gebracht und hohe wirtschaftliche Werte vernichtet haben.

Wir haben hier Wirbel vor uns, bei denen der Einfluß der Erdrotation sehr deutlich ins Auge fällt. Eine Theorie dieser Wirbel ist in großen Zügen zusammenfassend von A. Wegener gegeben, so daß wir diesen fürchterlichen Naturerscheinungen im Hinblick auf ihren Aufbau nicht unwissend gegenüberstehen, wenn auch ihre Vorhersage noch große Schwierigkeiten macht. Ihr Aufbau ist besonders von Helmholtz, Margules und im allgemeinen unter Berücksichtigung der viel harmloseren Tiefdruckgebiete, die wir dauernd Europa überziehen sehen, von V. Bjerknes gegeben. Der Bewegungszustand des Luftmeeres wird unter zusammenfassender Betrachtung aller meteorologischen Elemente heute hauptsächlich an Hand der Stromlinien durchgeführt, deren Tangente in jedem Punkte der dort herrschenden Strömung entspricht, also im wesentlichen der Windrichtung. Die Stromlinien sind übrigens nicht dasselbe wie die Bahn der Luftteilchen, da wir bei der Witterung keinen stationären Zustand vor uns haben. Diese Theorie hat uns mit der praktisch so wichtigen Feststellung beschenkt, daß in jeder Zyklone in der Nähe des Druckminimums ein Konvergenzpunkt liegt, in den zwei einseitige Konvergenzlinien münden. Eine von diesen ist die von Bjerknes entdeckte Kurslinie, deren Tangente im Zyklonenzentrum den zu erwartenden Kurs der Zyklone angibt. Die andere Konvergenzlinie ist die sogenannte Böenlinie, deren Lage für die Vorhersage der Witterung im Bereich des Minimums von Wichtigkeit ist. Zwischen der „Kurslinie" und der „Böenlinie" liegt der sogenannnte Warme Sektor, in dem das Wetter besonders auf den Gesundheitszustand empfindlicher Menschen einwirkt.

Das Zusammenwirken der warmen und kalten Luftschichten in diesem verwickelten Strömungsbilde ist besonders hinsichtlich des Verhaltens der Luftfeuchtig-

keit von Interesse, die entweder in Form von Regen ausgeschieden wird oder als Wolken und Nebel in die Erscheinung tritt. Die Wolken lassen dabei eine stockwerkartige Anordnung erkennen, wobei das Durchbrechen der Stockwerke als Zirkulationsstörung von prognostischer Bedeutung ist. Das Schweben der Wolken erklärt man durch aufwärts gerichtete Strömungen, welche Tröpfchen oder Eisnadeln in dauernder Bewegung erhalten. Scheinen Sonne oder Mond durch diese Eisnadeln hindurch, die auch in Form eines feinen Faserwolkenschleiers in hohen Schichten ausgebreitet sein können, so bilden sich Höfe um diese Gestirne und in besonderen Fällen auch Ringe mit Nebensonnen oder Nebenmonden. Während wir es hier mit der Einwirkung von Eisnadeln auf den Strahlenkranz zu tun haben, entstehen Regenbogen durch Strahlenbrechung in Wassertröpfchen, eine Erklärung dieser Naturerscheinung, die übrigens erstaunlich früh gegeben wurde.

Berücksichtigt man in langjähriger Zusammenfassung die Einflüsse warmer bzw. kalter Sommer, so gelangt man zu einer einheitlichen Erklärung der sogenannten Eiszeiten und Interglazialzeiten, wie sie gegenwertig von A. Penck und anderen vertreten wird. Wir haben es dabei nicht mit einer Vermehrung der Niederschläge zu tun, die etwa ein Meer von Eis geliefert haben, sondern mit einer Verminderung der Temperatur, und zwar im besonderen mit einer Abnahme der Temperatursummen über 0 Grad, die augenscheinlich allein zum Schmelzen des Eises in Betracht kommen. Zum Vergleich weisen wir auf das heutige Grönland und die Antarktis hin. Daß es hauptsächlich auf die Abwesenheit der Sommerwärme ankommt, zeigt ein Blick auf Ostsibirien und das Innere Nordamerikas, wo wir Eisboden haben, der in teilweise sehr warmen Sommern nur bis zu geringer Tiefe auftaut, aber dennoch imstande ist, hochstämmigen Wäldern als Boden zu dienen. Die Beurteilung dieser langen, kalten Sommer ist auf astronomischem Wege in der Weise möglich, daß wir die Form der Erdbahn und die Neigung der Erdachse gegen die Erdbahnebene genauer berücksichtigen. Schon seit Adhémar sind solche Versuche zur Datierung der Eiszeiten gemacht worden, aber erst durch die Zusammenarbeit der beiden auch astronomisch bewanderten Gelehrten A. Wegener und Milankowitsch war es möglich, den umfangreichen Rechnungen, die hierüber vorliegen, eine einleuchtende Deutung zu geben. Wir dürfen besonders nicht unterschätzen, daß die periodischen Schwankungen der Sonnenstrahlung infolge von Veränderungen der eben erwähnten Elemente zum Teil Perioden von nur etwa zehntausend Jahren aufweisen, die zu kurz sind, als daß sie sich im Hinblick auf die Eiszeiten überhaupt deutlich bemerkbar machen können. Es bleiben daher wesentlich die Einflüsse zu erforschen, welche durch die Schwankung der Exzentrizität der Erdbahn und die Änderung der Schiefe der Ekliptik hervorgebracht werden. Die Schwankungen der Exzentrizität der Erdbahn haben eine durchschnittliche Dauer von 92000 Jahren, die durch die Umlaufsbewegung der Apsidenlinie der Erdbahn in die eben erwähnten Abschnitte zu je 10000 Jahren, allerdings nicht sehr auffällig, eingeteilt werden. Die Schwankung der Ekliptikschiefe unterstreicht die Einflüsse der Exzentrizität der Erdbahn und läßt dann im Gesamteffekt derartig lange Folgen kalter Sommer entstehen, daß wir schließlich Eiszeiten beobachten können. Diese Maxima der Erdexzentrizität, die hauptsächlich nach den astronomischen Grundlagen von Stockwell durch Pilgrim berechnet wurden, machen sich jedoch nur dann bemerkbar, wenn die Exzentrizität

der Erdbahn den Betrag von 0,043 überschritt. Geringere Maxima bis zu 0,036, wie sie etwa 300000 Jahre vor der Gegenwart eintraten, führten noch nicht zum Eintreten einer Eiszeit. Milankowitsch hat im einzelnen gezeigt, daß die bisherige Theorie nicht im vollen Umfange befriedigen kann, und führte durch die Umwandlung der Änderung der Strahlungsmengen, die ein bestimmter Erdort empfängt, in entsprechende Änderungen der geographischen Breite ein neues Element in die ganze Lehre ein, das sich als besonders anschaulich erwies und uns der Schwierigkeit überhob, mit Rechengrößen zu arbeiten, die wir nicht genau definieren können. Auf der nördlichen Halbkugel hat sich ergeben, daß frühere Schätzungen der Dauer der Interglazialzeiten auf diese Weise überraschend gut dargestellt werden können. Im besonderen findet sich für die drei wichtigsten Abschnitte folgendes:

Jahrtausend	545—478	429—238	182—118
Dauer	67	191	64
= Interglazial . . .	Günz-Mindel	Mindel-Riß	Riß-Würm
Schätzung von Penck .	(100)	240	60

Aus den oben gegebenen Anregungen ist zu entnehmen, daß die Ekliptikschiefe für alle Breitengrade in gleicher Weise wirkt, während die Schwankung der Exzentrizität der Erdbahn je nach der geographischen Breite verschieden einwirkt. A. Wegener hat dies besonders betont und auch in seinem mit Wl. Köppen zusammen bearbeiteten Werk über „Die Klimate der geologischen Vorzeit" eine Anleitung dazu gegeben, wie diese Einflüsse leicht berechnet werden können. Damit liefert uns schließlich diese in ihren Datierungen ungenaueste Wissenschaft doch noch Anhaltspunkte, um die auch hier exakteste Astronomie insoweit zu kontrollieren, als sich die bei so ungeheuren Zeiträumen doch erheblich gehäuften Störungswirkungen danach beurteilen lassen. Es wäre sehr zu wünschen, daß die Stockwellschen Berechnungen mit den Hilfsmitteln der Gegenwart wiederholt würden. Liegt doch ein besonderes Interesse für die Datierung im Rahmen dieses als Quartär bezeichneten Erdzeitalters insofern vor, als das Auftauchen des Menschen in diese Zeit fällt. Wir können diesen Gedanken hier nicht weiter verfolgen, da die Raubtiere, als deren gefährlichstes der Mensch bezeichnet worden ist, zu einem ganz anderen Zweige der Naturforschung gehören. Auch die Botanik kann hier, besonders im Hinblick auf das Auftreten verschiedener Baumarten, in bestimmten Gegenden der Geologie und Astronomie zu Hilfe kommen. A. Wegener hat nämlich die früher als absonderlich beurteilte Hypothese zum empirischen Befund erheben können, daß die Erdteile, wie wir sie auf dem heutigen Atlas verzeichnet finden, nicht immer dieselbe Lage einnahmen, sondern in langsamem Gleiten, das sich auch heute noch fortsetzt, ihre Form und Lage veränderten. Dieser Umstand bringt in das Eiszeitproblem neue Züge hinein, deren wissenschaftliche Bearbeitung noch nicht abgeschlossen ist, und die jedenfalls die Arbeit des Astronomen in Zukunft nicht gerade erleichtern werden.

Anscheinend haben sich die Bewegungen der Kontinente allmählich verlangsamt, so daß wir sie für kommende Jahrmillionen als nicht so wesentlich wie in den vergangenen Zeiten zu berücksichtigen haben. Man wird daher dem Rechnungsresultat,

so traurig es auch an sich sein mag, einiges Vertrauen entgegenbringen dürfen, daß fünfhunderttausend Jahre nach unserer Zeitrechnung eine nächste große Eiszeit über Europa kommen wird, wenigstens gestatten die McFarlandschen Tabellen diesen Ausblick in die Zukunft.

In den Jahrmillionen vor der Eiszeit dürfte der Umstand nicht ganz außer acht zu lassen sein, daß unsere Sonne damals dem Höhepunkt ihrer Strahlung noch näher war als gegenwärtig, daß wir mithin für diese Zeit mit einer höheren Wärmezufuhr rechnen dürfen. Allerdings ist nicht zu unterschätzen, daß auch Jahrmillionen im Hinblick auf die Lebensdauer einer Sonne ein sehr kurzer Zeitabschnitt sind, innerhalb dessen wir Schwankungen ihrer Strahlung kaum in höherem Betrage begründen können.

Überhaupt hat man sich früher die Beurteilung des Sonneneinflusses auf die Erde leichter vorgestellt, als es sich in den letzten Jahren ergeben hat. Besonders die Änderungen der Solarkonstante, nach der man die wärmende Wirkung des Tagesgestirnes zu berechnen gewöhnt ist, sind durch die letzten Untersuchungen insofern zweifelhaft geworden, als sich herausgestellt hat, daß man die Schwankungen der Durchlässigkeit der Erdatmosphäre für die einzelnen Gattungen der Sonnenstrahlung wohl unterschätzt hat. Wir dürfen dabei nicht außer acht lassen, daß die Sonnenstrahlung nicht nur in Ätherwellen verschiedenster Länge besteht, sondern daß auch noch eine Korpuskularstrahlung, entsprechend den aus der Erforschung der radioaktiven Substanzen bekannten Alpha- und Betastrahlen, stattfindet. Diese Körperstrahlung dürfen wir etwa durch die auf der Sonne zerlegten Atome, Atomkerne und Elektronen hervorgerufen denken. Die Korpuskularstrahlung unterliegt elektromagnetischen Einflüssen, wie das häufige Auftreten der Polarlichter beweist, und wirkt hauptsächlich auf die höchsten Schichten der Erdatmosphäre. Die Licht- und Wärmestrahlung dringt teilweise abgeschwächt bis auf den Erdboden durch, von wo aus erst indirekt die Erwärmung der darauf liegenden Luftschichten erfolgt.

Will man die Beeinflussung der Erde durch die Veränderungen auf der Sonne richtig beurteilen, so wird man vor der Schwierigkeit der Erforschung des gegenseitigen Zusammenwirkens der verschiedenen Strahlungsarten nicht zurückschrecken dürfen. Auf diesem Gebiet sind erst wenige Ansätze gemacht worden, und eine glatte Ablehnung des solaren Einflusses auf tellurische Vorgänge kann daher nur als übereiltes Urteil angesehen werden.

Wl. Köppen hat sich der Frage nach den Beziehungen zwischen Lufttemperaturen und Sonnenflecken wiederholt gewidmet und festgestellt, daß in den Jahren der Sonnenfleckenminima das Maximum der Temperatur eintritt, wobei allerdings die Gesamtschwankung auch in den Tropen nur einige Zehntelgrad beträgt. Köppen hat verschiedene Erdgebiete getrennt untersucht und dabei einen verschiedenartigen Verlauf der Temperaturkurve im Vergleich mit der Sonnenfleckenkurve gefunden, wodurch sich der Einfluß der Zirkulation und der Bodenverhältnisse dokumentiert. Immerhin ist der elfjährige Zyklus, wie A. Defant betont, die erste, sicher nachgewiesene Periode in den Witterungserscheinungen. Hierbei ist, wohlgemerkt, nicht auf die Schwankungen der Solarkonstante Bezug genommen, die neuerdings von H. H. Clayton auch prognostisch ausgewertet wird, sondern allein auf die Sonnenflecken. Nachdem eine einwandfreie Beziehung zwischen Sonnenflecken-

änderungen und Schwankungen der Solarkonstante noch nicht aufgestellt werden konnte, müssen zunächst alle diese Fragen einzeln behandelt werden.

Die interessantesten Klimaperioden, die unzweifelhaft von der Sonne abhängen, knüpfen sich an die Untersuchungen von E. Brückner und E. Reis an. Die Brückner-sche Klimaperiode von 35 Jahren ist nicht unbestritten geblieben, und man wird nicht umhin können festzustellen, daß die doppelte Periode von 70 Jahren auch in den Niederschlägen viel deutlicher hervortritt, als Brückner dieses früher erkannt zu haben glaubte. Mit der Brücknerschen Periode steht hinsichtlich ihrer Bedeutung auf ungefähr gleicher Stufe die von E. Reis entdeckte Periode der Hochwasser- und Dürrezeiten von etwa 110—112 Jahren. Es ist mir gelungen, diese beiden Perioden in einfacher Weise aus den wichtigsten Grundperioden der Sonnenflecken als Interferenzen von Planetenumläufen aufzubauen. Bestärkt wurde ich in dieser Unternehmung durch die periodologischen Resultate amerikanischer Wetterforscher, die bei langen Beobachtungsreihen gerade in den letzten Jahren immer wieder auf charakteristische Perioden dieser Art stießen.

In welcher Weise die Beeinflussung hier zu denken ist, muß nach dem oben Entwickelten offen gelassen werden. Daß Einflüsse bestehen, ist jedoch nicht mehr zweifelhaft. Auch luftelektrische Vorgänge spielen hier mit hinein, deren Studium erst in der letzten Zeit von meteorologischer Seite gepflegt wurde. Da nach den Arbeiten von Arrhenius auch der Mensch luftelektrischen Störungen merklich unterworfen ist, so stoßen wir hier letzten Endes auf physiologische Beziehungen, die aber erst an anderer Stelle berücksichtigt werden können.

VI. Ebbe und Flut.

Die in manchen Gegenden der Erde so eindrucksvollen Gezeiten bilden in dem Wechselspiel von Ebbe und Flut für viele einen der anschaulichsten Beweise der Beeinflussung der Erde durch Mond und Sonne. Ja, man hat sogar durch zahlenmäßige Betrachtungen hieraus einen Beweis für die Richtigkeit des Gravitationsgesetzes ableiten wollen, indem man die Fluthöhen von Sonne und Mond mit den Einflüssen der beiden Gestirne verglich, wie sie sich ihren Flutkräften entsprechend ergeben.

Bei genauerer Betrachtung hat sich leider herausgestellt, daß die Newtonsche Theorie bei der mathematischen Beschreibung der Gezeiten noch auf Schwierigkeiten stößt, von denen man bisher nur sagen kann, daß sie meist verschleiert oder gar unbegründet bestritten wurden. Nur bei wohlwollender Beurteilung der Sachlage kann man zugeben, daß eine Darstellung der Flutregistrierung wenigstens mit Hilfe der zahlreichen Perioden möglich ist, welche die Theorie von vornherein abgeleitet hat. Wir dürfen dabei nicht unterschätzen, daß jeder Naturvorgang (wenigstens sind die Unstetigkeiten, die hier Schwierigkeiten machen würden, äußerst selten) durch Fouriersche Reihen dargestellt werden kann bzw. einer harmonischen Analyse zugänglich ist. Das Wesentliche ist dabei die Ökonomie der Arbeit, daß nämlich die Zahl der zu untersuchenden Wellen nicht zu groß wird.

Vergleichen wir zunächst einmal die theoretische Erwartung über den Verlauf der Gezeiten mit den tatsächlichen Beobachtungen, so ist nach der Theorie am

Äquator eine tägliche Ungleichheit überhaupt nicht zu erwarten, während sie tatsächlich etwa in Indien und in dem malaiischen Inselmeer so deutlich auftritt, daß man in einigen Gegenden zu reinen Eintagstiden kommt. Während am Pol theoretisch keine eigentliche Ebbe und Flut vorhanden sein soll, sondern nur eine langsam verlaufende Änderung des Wasserstandes, hat man auch hier erhebliche Gezeiten nachgewiesen. „Hiernach würde zu schließen sein," heißt es in dem Lehrbuch für den Unterricht in der Navigation an der ehemals Kaiserlichen Deutschen Marineschule, „daß die Theorie unrichtig und unfähig sei, den tatsächlichen Verhältnissen zugrunde gelegt zu werden, und soweit es sich um eine physikalische Erklärung der Erscheinungen in den verschiedenen Gegenden der Erde handelt, ist dies auch ohne Zweifel richtig."

Um den Vorgang der Gezeiten näher kennenzulernen, müssen wir uns daher auf die reine Erfahrung stützen. Diese ergibt ein Überwiegen der täglichen Tide im Indischen Ozean, die merkwürdigerweise an der Küste Europas fast ganz fehlt. Hinsichtlich der halbmonatlichen Ungleichheit finden sich bedeutende Unterschiede des Einflusses von Sonne und Mond je nach der Küste, die man in Betracht zieht. An der amerikanischen Ostküste ist die Einwirkung des Mondes im Vergleich zu der der Sonne wie 5 bis 6 zu 1. Auf Tahiti sind dagegen beide Wirkungen gleich, am Irischen Kanal ist die Mondtide sogar kleiner als die Sonnentide. Aus diesen Beispielen sieht man deutlich, wie lokale Einflüsse die Darstellung des tatsächlichen Gezeitenverlaufes gegenüber dem theoretischen verändern können. Auch die Größe des Tidenhubs ist sehr verschieden. Auf einsamen ozeanischen Inseln, wie beispielsweise St. Helena, ist er unter 1 m, während er im Englischen Kanal über 10 m und an der Ostküste Patagoniens 14 m erreicht. Auch die Zeitdauer des Steigens und Fallens, die auf See gleich lang ist, weist große Unterschiede auf. In Hamburg steht eine Steigdauer von $4^3/_4$ Stunden einer Falldauer von $7^1/_2$ Stunden gegenüber; am Severn steigt das Wasser nur $1^1/_2$ Stunden und fällt dann fast 11 Stunden lang.

Es sind verschiedene Versuche gemacht worden, die bestehenden Schwierigkeiten zu beheben, und G. H. Darwin, ein Sohn des berühmten Ch. Darwin, gibt in seinem Buch über dieses Thema viele Anregungen, die auch für den Astronomen im allgemeinen von Bedeutung sind. Die formale Einführung verschiedener Erdbegleiter zur theoretischen Erklärung der vielgestaltigen beobachteten Einflüsse ist jedoch letzten Endes unbefriedigend. E. Hoff hat den Versuch unternommen, durch Hinweis auf die Zentrifugalkraft, der die Erde bei ihrer Wanderung um die Sonne unterworfen ist, unter Berücksichtigung der beiden Erdhälften einer Klärung der Frage näherzukommen. Es ist aber bisher noch nicht gelungen, eine Plattform zu finden, auf der die an diesen Fragen interessierten Gelehrten sich verständigen könnten.

Vom praktischen Standpunkt aus kann es sich hier nur um die Ökonomie der Bearbeitung in dem Sinne handeln, wie man mit einem möglichst geringen, vor allem erschwinglichen Aufwand an Rechenarbeit das Beobachtungsmaterial des Ebbe- und Flutverlaufes für die Zwecke der Vorausberechnung bearbeiten kann. Deutschland verfügt hier über ein Wunderwerk der Mechanik, das in der deutschen Seewarte in Hamburg aufgestellt ist. Diese Gezeitenrechenmaschine führt die obenerwähnte harmonische Analyse der Gezeiten auf mechanischem Wege durch, wobei

20 verschiedene Teiltiden getrennt berechnet werden. Die Maschine ist mit einer Schreibvorrichtung versehen, welche die fertig berechnete Wasserstandskurve auf einem Streifen von $^1/_2$ m Breite und 210 m Länge in ihrem Jahresverlauf automatisch angibt. Die Leistung der Maschine entspricht in 10—15 Stunden dem, was ein geübter Rechner sonst in Monaten monotoner Arbeit mühsam erlangen könnte. Bei ununterbrochenem Betriebe leistet die eine Maschine in einem Jahr die Gezeitenberechnung für 800—900 Häfen. Die Unvollkommenheit der Theorie tritt hier in den Hintergrund, da ihr nur die Perioden der Schwankung, nicht aber die Beträge selbst entlehnt wurden.

Bei der Unvollkommenheit der Ebbe- und Fluttheorie läßt sich wenig über den Einfluß von Sonne und Mond auf das Luftmeer äußern, da wir ja hier auf ganz anderes Beobachtungsmaterial angewiesen sind. Uns stehen allein die Barometerablesungen am Grunde des Luftmeeres zur Verfügung, die durch viele andere Einflüsse neben den eben genannten beeinträchtigt werden. Es ist nicht ausgeschlossen, daß durch Zusammenwirken der Ebbe- und Flutperioden einige neue Perioden entstehen können, die man nicht auf den ersten Blick in ihrem kosmischen Ursprunge erkennt und die sich erst auf Umwegen in ihrer Verbindung mit dem Sonnen- und Mondlauf erkennen lassen.

VII. Beziehungen der Astronomie und Physiologie.

Gewiß liegt die Aufsuchung der Beziehungen zwischen Astronomie und Physiologie einem Studiengebiet ungemein nahe, das durch Mißgriffe von Pfuschern und solchen, die die Dummheit des Menschen auszubeuten wissen, wir meinen die landläufige Astrologie, wissenschaftlich schwer in Verruf gebracht worden ist. Wenn es auch noch lange dauern wird, bis hier auch nur die ersten zuverlässigen Grundlagen gewonnen sind, so darf man doch nicht von vornherein an der Möglichkeit solcher Beziehungen zweifeln und sich durch kategorische Ablehnung ebenfalls den Vorwurf unwissenschaftlichen Vorgehens zuziehen. A. Gockel äußerte sich in diesem Sinne als derzeitiger Rektor der Universität Freiburg in der Schweiz in folgendem Sinne: „Wenn aber die Vorgänge auf der Sonne, die elektrischen Strömungen in der Erdatmosphäre und damit auch die Witterungserscheinungen und das menschliche Befinden beeinflussen, und wenn andererseits festgestellt ist, daß die Stellung der Planeten auch auf die Vorgänge der Sonne zurückwirkt, so können wir uns schließlich auch der Ansicht zuneigen, daß selbst in dem Glauben der Astrologen ein Fünkchen Wahrheit, vielleicht am Ende einige falsch ausgelegte Beobachtungstatsachen stecken. Doch wie dem auch sei, eines steht fest, die Gravitation ist nicht das einzige Band, das die Planeten an die Sonne und diese wieder an die Planeten fesselt. Die einzelnen Glieder unseres Sonnensystems verbinden auch elektrische Kräfte . . ."

In seinem Werke über die „Geopsychischen Erscheinungen" widmet Willy Hellpach neben einer Untersuchung der täglichen und jährlichen Periodik des menschlichen Seelenlebens auch den „astropsychischen" Erscheinungen einen eignen Abschnitt. Die Tagesperiodik des Menschen ist verhältnismäßig schwierig zu erforschen, weil sie durch die allgemeinen Kulturgebräuche beeinflußt wird. Etwas

deutlicher tritt schon die Jahresperiodik bei besonders empfindlichen Naturen hervor, wie sie etwa in den Anstalten für Epileptiker studiert werden können. Hervorzuheben ist dabei der Umstand, daß die Häufigkeit der Anfälle, wie sie zuerst R. Ammann in Zürich studiert hat, sich nicht nach den Schwankungen der Lufttemperatur, nicht nach den Niederschlägen, sondern in geringem Maße nach der Bewölkung und viel deutlicher nach luftelektrischen Schwankungen richtet. Ich habe diese luftelektrischen Schwankungen auch im Hinblick auf die, allerdings nur schwer erkennbare, jährliche Periode der Sonnenflecken untersucht und gefunden, daß man geradezu die Häufigkeit der von Ammann registrierten epileptischen Anfälle zu der Häufigkeit der Sonnenflecken unter alleiniger Berücksichtigung ihrer jährlichen Schwankung in Beziehung setzen darf. Wir sehen hierin einen Anknüpfungspunkt zum Verständnis des eingangs gebrachten Zitates von A. Gockel.

Im Vergleich zum jährlichen Sonnenlauf wird der Mondlauf in seiner Bedeutung meist unzutreffend beurteilt. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die meisten die verschiedenen Arten des Mondlaufes nicht genau auseinanderhalten. Dem Jahreslauf der Sonne entspricht unter den verschiedenen Arten von Mondumläufen der tropische, also die Wiederkehr des Mondes zum Frühlingspunkt bzw. die Wiederkehr seiner höchsten oder tiefsten Stellung zum Erdäquator. Nachdem sich zwischen den Sonnenflecken und der Häufigkeit der Polarlichter eine unverkennbar enge Beziehung herausgestellt hatte, gewinnt die Feststellung von Arrhenius besondere Bedeutung, daß die Häufigkeit der Polarlichter auch im Hinblick auf den tropischen Monat einer Schwankung um etwa 20% des Mittelwertes unterliegt. Der Höchstwert der Polarlichtentfaltung der Nordhalbkugel tritt ein, wenn der Mond gerade am südlichsten steht, also durch die Sternbilder Skorpion und Schütze wandert. Eine wertvolle Bestätigung dieses Ergebnisses bildet der Umstand, daß die Südlichter dann eine relative Steigerung ihrer Häufigkeit zeigen, wenn der Mond möglichst weit nördlich vom Äquator steht. Wir gehen wohl nicht fehl in der Annahme, daß der Mond den Sonneneinfluß gewissermaßen aufnimmt und dann wiederum der unmittelbaren Einwirkung des Tagesgestirnes auf die Erde überlagert. Dadurch entstehen die kombinierten Sonnen- und Mondeinwirkungen, die im Verlaufe des synodischen Monats von Neumond zu Neumond am bekanntesten sind. Ihrem Betrage nach sind sie jedoch verhältnismäßig unbedeutend, so daß wir zunächst ein anderes, klareres Beispiel für das Zusammenwirken der beiden Einflüsse vorführen wollen.

Es handelt sich dabei um das vielbesprochene Paloloproblem. Ein Südseewurm erlebt zweimal im Jahre, im Oktober und November, beide Male in der Nacht vor Vollendung des letzten Mondviertels, unabhängig von der Wetterlage und Ebbe und Flut (der Vorgang tritt auch im Aquarium ein) seine Sexualkrise, bei der sich die beiden hintersten Körperabschnitte zu selbständigem Dasein von dem Wurm ablösen. Hellpach betont, daß dieses Problem erst in den Bereich des Begreiflichen eingetreten ist, seit wir durch Arrhenius und Ekholm einiges über die physiologischen Wirkungen der Luftelektrizität wissen. Berechnet man das Produkt der Einflüsse von Sonne und Mond, die oben durch Hinweis auf die Epileptikerstatistik und die Häufigkeit der Polarlichter behandelt wurden — wobei als verbindende Vorstellung uns die Sonnenflecken vorschweben —, so ergibt sich ein Höchstwert

des Gesamteinflusses im Oktober und November kurz vor dem letzten Viertel. Er rückt um so weiter zurück, je später das letzte Viertel in den November fällt. Diese unsere Erklärung ist so einfach und einleuchtend, daß man die weiten Umwege, die zum Teil an die Kunst der Kabbalisten erinnern, wohl nicht gern mitgehen wird, die Wilhelm Fließ zur Deutung des Pololorätsels gegangen ist.

In seinem so anregungsreichen Werke über den „Ablauf des Lebens" hält er auch in der zweiten Auflage bei den theoretischen Schlußbetrachtungen an der Deutung seiner Perioden von 23 und 28 Tagen fest, wonach die Tatsache, „daß die Sonne nicht im Mittelpunkt, sondern in einem Brennpunkt der elliptischen Erdbahn steht, die letzte Ursache für die Zweigeschlechtlichkeit des Lebens" sei. Der Unterschied von Sommer und Winter, der gegenwärtig etwa acht Tage beträgt, veranlaßt ihn zu dem aussichtslosen Versuch, mit dem Hinweis auf das frühere Verhalten der Exzentrizität der Erdbahn auch eine rechnerische Erklärung zu geben. Die Theorie der Eiszeiten gibt uns gerade für die Zeit des Auftauchens des Menschen im Quartär Anhaltspunkte in diesem Sinne, und wir können daraus schließen, daß auf diese Weise die 23 und 28 Tage bestimmt nicht befriedigend erklärt werden können.

W. Fließ versteift sich auf solare Beziehungen und will den so einflußreichen Mond bei seiner Erklärung nicht anerkennen. Während der theoretischen Schlußbetrachtungen hält er den Schlüssel zu dem ganzen Problem allerdings dauernd in der Hand, indem er mit der Einheit von dreiviertel Jahren operiert. Leider scheint ihm die ja schon aus dem grauen Altertum überlieferte Tatsache unwesentlich zu sein, daß drei Vierteljahre gleich zehn tropischen Monaten sind und beide genau der mittleren Schwangerschaftsdauer des Menschen entsprechen. Er legt großen Wert auf eine Dauer von genau drei Jahren, ohne den Umstand zu verwerten, daß diese drei Jahre wieder den Beginn eines neuen Zyklus insofern bedeuten, als in diesem Zeitraum gerade vierzig tropische Monate abgelaufen sind. Den alten Astrologen war diese Vorstellung durchaus gewohnt, da nach ihrer Überlieferung das Vierteljahr einer Quadratur der Sonne in bezug auf einen gegebenen Anfangspunkt des Tierkreises entsprach, während der Erdbegleiter nach einem tropischen Monat von $27^1/_3$ Tagen wieder denselben Punkt des Tierkreises erreichte oder, nach der altertümlichen Ausdrucksweise, ein Transit (Übergang) des Mondes über diesem Punkt stattfand.

Das unmittelbare Zusammenwirken von Sonne und Mond im Verlaufe des synodischen Monats wurde oben erwähnt und mit den luftelektrischen Erscheinungen in Verbindung gebracht. Die Statistik epileptischer Anfälle zeigt eine entsprechende Schwankung, wobei jedoch die Anstaltskranken weniger beweiskräftig aus dem Grunde sind, weil hier vielfach die Anfälle durch Darreichung von Beruhigungsmitteln gedämpft werden. In Einzelfällen, wo man jahrelang auf diese verzichtet, zeigt sich diese Beeinflussung in geringem, aber unverkennbarem Maße. Ich habe, um die luftelektrischen Vorgänge besonders hervorzuheben, die Häufigkeit von Gewittern mit den Anfällen eines bestimmten Patienten verglichen und gezeigt, daß die beiden Häufigkeitskurven innerhalb ihrer Unsicherheit zusammenfallen.

Die Beziehungen von Astronomie und Physiologie beleuchtet auch der Nachweis, daß sich die Anfälle eines Geisteskranken (Dementia praecox) in einer zwölftägigen Periodik gemäß der veränderten Zusammensetzung der Blutbeschaffenheit

folgen. Diese Periode von genauer 11,88 Tagen ist aus der Meteorologie bekannt, wo sie bei den Niederschlägen von G. Lamprecht entdeckt wurde. In ihr stecken genau dieselben Elemente, wie sie oben bei dem Fall von Fließ hinsichtlich der Bedeutung eines Dreivierteljahres erwähnt wurden. In dieser fast zwölftägigen Periode sind nämlich enthalten der halbe Mondumlauf und die Periode eines Vierteljahres. Hier mögen allgemeine Andeutungen dieser Art genügen, weil es sich ja nur um einen Überblick und keine handbuchmäßige Darstellung handelt.

Auch das aus dem Altertum überlieferte Siebenerrätsel des Menschen, wonach sein Leben in Siebenerperioden eingeteilt werden soll, läßt sich meines Erachtens auf eine astronomische Periode zurückführen, die ebenfalls von G. Lamprecht entdeckt, von ihm aber ebensowenig wie die zwölftägige gedeutet werden konnte. Es handelt sich um eine fast 106tägige Periode, die allerdings einer größeren überlagert ist, so daß nicht stets nach 106 Tagen etwa besonders heftige Wetterstürze eintreten. Es läßt sich zeigen, daß sie in Abständen von sieben und neun Jahren in verwickelter Folge mit dem Sonnenlauf zusammentrifft, und gerade diese Abstände entsprechen den statistisch gefundenen Krisenjahren des menschlichen Lebens. Auch hier scheinen gewissermaßen die Konstanten der Perioden individuell verschieden zu sein, so daß nicht etwa alle Menschen in genau derselben Weise reagierten. Wir wollen es dahingestellt sein lassen, ob damit das Siebenerrätsel schon gelöst ist, da die Erforschung des Grenzgebietes von Physiologie und Astronomie noch in den ersten Anfängen steht.

Immerhin wird man den Eindruck gewonnen haben, daß sich hier wichtige, schwierige Aufgaben erheben, für deren Lösung eine unabhängige Einstellung zu dem Problem „Natur und Mensch" erforderlich ist, wie sie etwa Goethe seinem Faust verliehen hat. Außerordentliche Schwierigkeiten liegen schon aus den eingangs angedeuteten Gründen vor. Wenn wir jedoch den großen Erfolg des Hellpachschen Werkes über die „Geopsychischen Erscheinungen" ins Auge fassen, so ist mit einer Überwindung der hier noch bestehenden und ja leider nicht unbegründeten akademischen Vorurteile zu rechnen. Den Leser werden vielleicht gerade im Hinblick auf die Beurteilung der Periodik seines eigenen Lebens diese Fragen besonders anziehen. Er wird heute mit tieferem Verständnis als bisher dem Faust in der Nachtszene des ersten Aktes des ersten Teiles die Empfindung nachfühlen können, die er beim Anblick des Zeichens des Makrokosmos hat und in die Worte kleidet:

Wie alles sich zum Ganzen webt,
eins in dem andern wirkt und lebt!
Wie Himmelskräfte auf und nieder steigen
und sich die goldnen Eimer reichen!
Mit segenduftenden Schwingen
vom Himmel durch die Erde dringen,
harmonisch all das All durchklingen!

* * *

Sechster Teil

Angewandte Geologie

Von Prof. Dr. Konrad Keilhack

Gliederung des sechsten Teiles

Seite

I. Einleitung 337

II. Geologie und Landwirtschaft 340

III. Verhütung von Erdbeben- und Vulkanschäden 341

IV. Das Wasser im Boden 342

a) Wasserversorgung 342
b) Wasserbeseitigung 349
c) Kanalisation 352
d) Talsperrenbau 354
e) Bewässerungsanlagen 355
f) Heilquellen und Bäder 356

V. Geologie und Bauwesen 359

a) Eisenbahnbau 359
b) Beschaffung von Rohstoffen 364

VI. Die Geologie im Kriege 368

VII. Nutzbare Ablagerungen und ihre Gewinnung 371

a) Erze und Metalle. Allgemeines 371
b) Gewinnung der Erze und Metalle 373
1. Gold 373
2. Platin 374
3. Quecksilber 374
4. Silber 375
5. Kupfer 375
6. Zinn 375
7. Nickel 376
8. Eisen 376
9. Mangan 376
10. Chrom 377
11. Blei und Zink 377
12. Kieslagerstätten 377
13. Radium 378
c) Vorkommen und Gewinnung der fossilen Brennstoffe 378
1. Steinkohle 379
2. Braunkohle 383
3. Torf 388
4. Erdöl 389
5. Erdgas 395
d) Die Salze und ihre Gewinnung 397
e) Sonstige nutzbare Lagerstätten 401
1. Arsen 402
2. Asbest 402
3. Bauxit 403
4. Bernstein 403
5. Bormineralien 404
6. Eisenocker 404
7. Feldspat 405
8. Flußspat 405
9. Gips 405
10. Glimmer 406
11. Granat 406
12. Graphit 407
13. Kalkspat und Kalkstein 408
14. Kaolin 409
15. Kieselgur 409
16. Korund 410
17. Magnesit 410
18. Meerschaum 410
19. Phosphat 411
20. Quarz 412
21. Salpeter 412
22. Schwefel 413
23. Schwerspat 414
24. Talk 414

I. Einleitung.

Der Mensch mußte sich zum ersten Male praktisch mit Fragen der Geologie beschäftigen, als er angefangen hatte, sich Waffen und Geräte aus Stein anzufertigen. Da nur wenige Stoffe, wie Feuerstein, Obsidian und Jadeit, für solche Zwecke als geeignet sich erwiesen, so mußten diese ein dankbares Ziel für die ersten geologischen Forschungen werden. In den Kreidegebieten Nordfrankreichs und Belgiens liegt der Feuerstein unter dem Löß angereichert auf der Oberfläche der Kreide, und zwar in unverwittertem, technisch brauchbarem Zustande. Hier waren die günstigsten Bedingungen für Massengewinnung des geschätzten Rohstoffes gegeben; hier entwickelte sich vor Tausenden von Jahren der älteste bekannte Bergbau, der zwar nur wenige Meter tief in den Boden eindrang, aber doch als Wurzel und Wiege dieser gewaltigen Industrie betrachtet werden muß. Erst sehr viel später drang der Mensch tiefer in den Schoß der Erde ein, als er in der Kupfer- und Bronzezeit in Tirol Kupferlagerstätten ausbeutete und im Salzkammergute der begehrten Speisewürze des Steinsalzes im Schoße der Berge nachging.

Aus ganz anderen Gründen drang der Mensch ein zweites Mal in die Erde hinein; die natürlichen Quellen und offenen Gewässer genügten dem zunehmenden Menschengeschlechte nicht mehr zur Siedlung, und das Leben in quellenlosen Gebieten mag schon im ersten Beginn der Seßhaftwerdung zur Erschließung von Wasser im Boden durch Graben von Löchern und damit zur ersten primitiven Schaffung von Brunnen und zu einer Wasserversorgung aus dem Grundwasser geführt haben. Damit sind uns die beiden auch heute noch wichtigsten Beziehungen des Menschen zur anorganischen Natur gegeben: die Gewinnung von mineralischen Rohstoffen und die Beschaffung von Trinkwasser. Aus diesen beiden ältesten Tätigkeiten entwickelten sich — erst sehr langsam, in den letzten Jahrhunderten mit immer mehr sich steigernder Stärke und Geschwindigkeit — die modernen Anwendungen der Geologie auf die Bedürfnisse des Menschen. Schließlich führte das immer mehr sich verschlingende, immer engmaschiger werdende Netz der Beziehungen des Menschen zum Boden, insbesondere auch die Bodennutzung durch die Landwirtschaft, zur Notwendigkeit, besondere staatliche Einrichtungen für die eingehende und sorgfältige geologische Durchforschung des heimatlichen Bodens zum Zwecke der bestmöglichen Nutzbarmachung der in ihm enthaltenen Naturschätze zu schaffen. Das Endziel solcher staatlichen Geologischen Landesanstalten ist die Schaffung einer geologischen Spezialkarte, in welcher nicht nur der Aufbau der Erdrinde, sondern

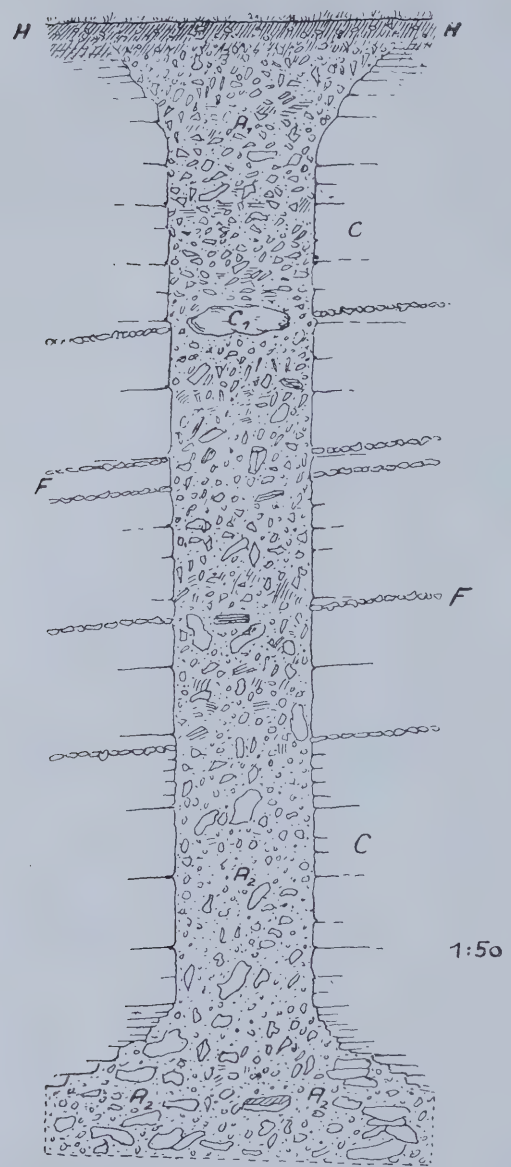


Abb. 172. Querschnitt durch einen Schacht bei Spiennes. H humoser Boden mit Feuersteinabschlägen. A_1 Obere Ausfüllungsmasse des Schachtes aus Flintabschlägen, Kernstücken, Klingen, grob zugehauenen Beilen u. a. mit wenigen kleineren Kreidebrocken und Kreidestaub, übergehend in A_2, die untere Ausfüllungsmasse aus größeren und kleineren Kreideblöcken, einigen Feuersteinknollen, größeren Abschlägen und einigen bearbeiteten Stücken. C Graue, sandige Kreide. C_1 Großer Kreideblock mit Rillen. F Lagen von Feuersteinknollen. — Nach de Loë und de Munck.

auch die Lagerung, Beschaffenheit, Verbreitung und das Alter der daran beteiligten Schichten zur Darstellung gelangen.

Die wichtigste Aufgabe der Geologischen Landesanstalten, die Anfertigung von geologischen Spezialkarten, hat das Vorhandensein möglichst genauer, mit Schichtlinien zur Darstellung von Oberflächenformen versehener Karten zur wesentlichen Voraussetzung. In Deutschland haben wir dafür die trefflichen Karten der Landesaufnahme 1 : 25000; auf ihnen wird die durch sorgfältige Begehungen und Feststellungen im Gelände ermittelte geologische Beschaffenheit der Oberfläche eingetragen durch Festlegung der Grenzen der einzelnen an ihrem Aufbau beteiligten Gesteine. Diese Untersuchungen und Feststellungen erfolgen durch allgemein naturwissenschaftlich und speziell geologisch vorgebildete Feldgeologen. Im Flachlande finden die Untersuchungen in der Hauptsache durch 2—5 m tief gehende Handbohrungen, im Gebiete anstehender fester Gesteine durch unmittelbare Beobachtungen oder durch Studium ihrer Verwitterungsbildungen statt. Eine gute geologische Spezialkarte soll nicht nur die am Aufbau der alleroberſten Erdrinde beteiligten Gesteine deutlich erkennen lassen, sondern auch zeigen, wie die Schichten lagern, welches ihr Streichen und Fallen ist, wo Störungen der regelmäßigen Lagerung, wie Faltungen, Verwerfungen, Überschiebungen, auftreten, wo Eruptivgesteine in Lagern, Stöcken oder Gängen dem Schichtverbande eingeschaltet sind, wo Erzgänge die Gesteine durchsetzen, wo Braun- und Steinkohlenflöze lagern, kurz

alles darbieten, was durch unmittelbare Beobachtung oder durch sichere Schlußfolgerung sich feststellen läßt.

Das Deutsche Reich besitzt keine Geologische Reichsanstalt, wie das alte Österreich sie hatte, sondern eine Anzahl von Landesanstalten der größeren Bundesstaaten. An die größte von ihnen, die preußische, die an Personal und durchgeführter Organisation an der Spitze aller Landesanstalten der Welt steht, haben sich die meisten kleinen norddeutschen Bundesstaaten mit Ausnahme von Mecklenburg-Schwerin angeschlossen. Ferner haben wir Landesanstalten in den Freistaaten Baden, Bayern, Hessen, Sachsen und Württemberg. Sie alle geben ihre geologischen Spezialkarten im Maßstab 1 : 25000 heraus und suchen das Lesen und Benutzen derselben durch Beigabe von z. T. umfangreichen Erläuterungsheften zu erleichtern.

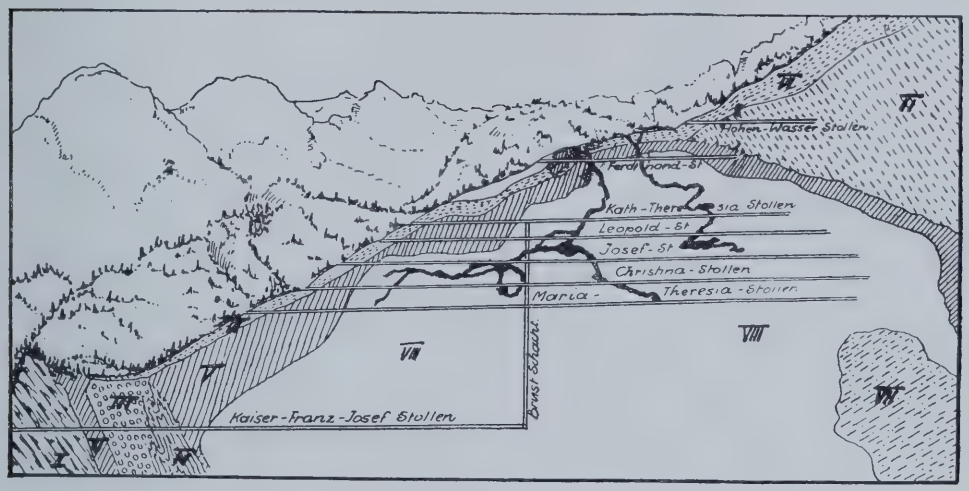


Abb. 173. Querschnitt durch den Hallstätter Salzberg (etwas überhöht). I Dachsteinkalk. II Blossenkalk. III Buntsandstein. IV Bituminöser Kalk. V Ausgelaugtes Salzgebirge. VI Schutt. VII Melaphyr. VIII Salzstock. Im Salzstock die alten Abbaue (schwarz). — Nach Aigner.

Je 30 dieser Meßtischblätter (eine sogen. halbe Gradabteilung) werden in einer Karte 1 : 200000 zusammengefaßt, für welche die ausgezeichnete Karte des Deutschen Reiches in gleichem Maßstabe als Unterlage dient. Im Maßstabe 1 : 500000 endlich werden Übersichtskarten der einzelnen Provinzen bzw. Länder Norddeutschlands herausgegeben. Von den Meßtischblättern 1 : 25000 sind bis jetzt im Deutschen Reiche etwa 1500 Blätter aufgenommen; von der Karte 1 : 200000 sind etwa 20 veröffentlicht, von den Provinzkarten sind zwei (Brandenburg und Pommern) herausgegeben, eine weitere (Sachsen) befindet sich im Druck. Außer diesen Blättern veröffentlicht die preußische Geologische Landesanstalt noch eine Karte der nutzbaren Ablagerungen des Staatsgebietes, gleichfalls 1 : 200000, und bringt in ihren Jahrbüchern, Abhandlungen, Lagerstättenarchiven und in Einzelveröffentlichungen eine Fülle von weiterem Material zur allgemeinen Kenntnis. Von der preußischen Geologischen Landesanstalt ist auch die internationale Karte von Europa im Maßstabe von 1 : 1500000

bearbeitet worden und wird zurzeit eine geologische Weltkarte 1:10000000 bearbeitet.

In Europa haben — die Türkei und Albanien ausgenommen — jetzt alle Staaten geologische Landesanstalten; in Asien sind Sibirien, China, Japan, Indien, in Afrika Ägypten, Algerien, Südafrika und einige andere englische Kolonien, in Amerika Kanada, die Vereinigten Staaten, Mexiko, Kolumbien, Chile, Argentinien und Brasilien mit solchen versehen. In Australien fehlen sie in keinem der Staaten, und die Inseln des Stillen Ozeans werden von ihren Mutterländern geologisch mit erforscht, wie die Philippinen und die Sundainseln. Den wichtigsten Anstoß zur Ausbreitung dieser staatlichen Forschungsinstitute über den ganzen Erdball gab naturgemäß die schnelle Entwicklung der Entdeckung und Ausbeutung aller Arten von Bodenschätzen, die wir im Schlußteil dieses Abschnittes nach ihrer Art und den Methoden ihrer Gewinnung betrachten werden.

II. Geologie und Landwirtschaft.

Mehrerer zwischen Geologie und Landwirtschaft bestehender Beziehungen wird später gedacht werden. Dazu kommt die Anfertigung von Bodenkarten, die Aufsuchung von Mergellagern für Bodenverbesserung und die Aufsuchung von Wegebaumaterial. Der Boden ist entweder der der Oberfläche am nächsten liegende und deshalb am stärksten verwitterte Teil des darunter befindlichen festen oder lockeren Gesteins, oder er ist die jüngste Schicht einer im Entstehen begriffenen Bildung, wie eines Torfmoores oder Flußdeltas. In beiden Fällen ist er Objekt der geologischen Kartendarstellung, und jede geologische Spezialkarte läßt eine Reihe von Schlüssen auf die in ihrem Gebiete auftretenden Böden zu. Daneben aber gibt es noch besondere Bodenkarten, die näher auf die Bedürfnisse der praktischen Landwirtschaft eingehen und nur den Boden als solchen nach Mächtigkeit, Kornzusammensetzung, chemischem Aufbau, Verhalten zum Wasser und ähnlichen Beziehungen darstellen. Solche Karten sollen auch feinere, aber für die Kulturgewächse wichtige Eigenschaften und Unterschiede sonst ähnlicher Boden zum Ausdruck bringen und es dem Landwirt ermöglichen, eine rationelle Schlageinteilung vorzunehmen.

Für weite Gebiete kommen zur Kalkdüngung der Äcker gemahlene Kalksteine oder gebrannter Kalk wegen zu weiter Entfernungen nicht in Frage. Dann gilt es, möglichst auf dem Gebiete des Gutes natürliche kalkreiche Erden, die allgemein als Mergel bezeichnet werden, aufzusuchen. Solcher Mergel sind Geschiebemergel, Tonmergel, Mergelsand und Löß, deren Kalkgehalt bis zu 30% gehen kann, oder Lager von Süßwasserkalk unter Torfmooren oder in Seen, die bis 90% kohlensauren Kalk führen können. Ihre Aufsuchung erfolgt fast immer durch den Geologen mittels zahlreicher, rasch ausführbarer Handbohrungen auf 3—4 m Tiefe. Von Bedeutung ist auch die Feststellung der Kalkbedürftigkeit der Böden, die als Säuregrad bezeichnet wird und heute mittels sinnvoller Apparate unmittelbar auf dem Acker bestimmt werden kann. Der Säuregrad zeigt dem Landwirt, welche Kalkmengen er seinem Boden zuführen muß, um die Säuren zu neutralisieren, und die Bestimmung des Kalkgehaltes in den zur Verfügung stehenden Mergeln dient als

Unterlage für die dem Boden zuzuführenden Mengen desselben. Endlich kommen als geologische Aufgaben für die Landwirtschaft noch die Aufsuchung von Kieslagern für einfache Verfahren ländlicher Wegverbesserung in Betracht.

III. Verhütung von Erdbeben- und Vulkanschäden.

Auf dem Gebiete der Verhütung von Erdbeben- und Vulkanschäden hat die geologische Wissenschaft bis jetzt nur geringe Erfolge zu verzeichnen, denn sie hat sich bisher im allgemeinen auf die Registrierung der Erscheinungen und Vorgänge und ihrer Wirkungen beschränken müssen. Immerhin lassen sich auch eine Anzahl positiver Erfolge anführen.

I. **Erdbeben.** In erdbebenreichen Gebieten hat die Erdbebenforschung diejenigen Gesteine und geologischen Formationen erkannt, die bei Erdbeben entweder die schwersten Beschädigungen erleiden oder am glimpflichsten dabei abkommen und für Neusiedlungen die Bevorzugung der letzteren empfehlen können. Auch ist es durch sorgfältige Untersuchung der an Bauwerken vorkommenden Erdbebenschäden möglich gewesen, solche baulichen Konstruktionen zu ermitteln, die am besten geeignet sind, harten Stößen zu widerstehen ohne einzustürzen. Zu solchen Ratschlägen für die Bebauung häufig von Erdbeben heimgesuchter Gebiete gehört die Vermeidung von künstlich aufgeschütteten oder vom Wasser durchtränkten, lockeren Böden, sowie von Gebieten in nächster Nähe großer Verwerfungsspalten; ferner beim Bau selbst entweder im warmen Klima die Verwendung elastischer Verbindungen der einzelnen Bauteile mit Bambus und ähnlichem Material, in kühlerem Klima die Bevorzugung von Eisenkonstruktionen und von möglichst massiven Bauweisen, auch an der Rückfront der Häuser, sowie die Vermeidung überhängender Zierate und Balkone an diesen und freistehender, hoher Schornsteine. Weitere Ratschläge, die der Erdbebenforscher den Bewohnern von Erdbebenländern geben kann, beziehen sich auf die Sicherung von Wasserleitungen und die Bereitstellung von Wasser zum Löschen der gerade bei Erdbeben häufigen umfangreichen Brände, auf die Vermeidung der letzteren durch bessere Maßnahmen zur Verhütung von Kurzschluß an elektrischen Leitungen und von Brüchen an Gasleitungen. Auf allen diesen Gebieten aber stehen wir noch in den ersten Anfängen, und viel Arbeit ist noch zu leisten, um den großen Erdbeben einen Teil ihrer Furchtbarkeit zu nehmen.

II. **Vulkanismus.** Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse bei der Vorsorge für die Bewohner von Gebieten eines lebhaften Vulkanismus. Hier gilt es für den Vulkandienst die Vorzeichen einer Eruption genau zu studieren, um an ihnen das Nahen einer solchen zu erkennen zwecks rechtzeitiger Warnung der Bevölkerung. Dahin gehört die regelmäßige Messung der Wärme des Wassers in Quellen und Brunnen, der Luft in tiefen Kellern oder in eigens zu diesem Zweck niedergebrachten Bohrungen, vielleicht auch die Kontrolle der Zunahme der Schwere über den Gebieten sich zusammenziehenden und aufsteigenden Magmas, die schon bei ganz geringen Beträgen durch die Eötvössche Drehwaage feststellbar ist. Auch die Vulkanberge selbst sind genau zu überwachen und das beginnende Aufsteigen von Dämpfen, das Auftreten von Exhalationen von Schwefel- oder Salzsäure und die Zunahme der Wärme im Krater sind zu verfolgen. Bei den großen Vulkanen Europas, der

Sundainseln und Hawais besteht bereits solch vulkanischer Überwachungsdienst. Einzelne Vulkane bergen in ihren Kratern Seen, deren Wasser beim Ausbruch herausgetrieben wird und Schlammströme erzeugt, deren Verheerungen oft die des Vulkanausbruches selbst übertreffen. Um dies zu verhüten, will man in einzelnen, besonders gefährlichen Kratern der Sundainseln durch einen von außen nach der Sohle des Sees vorgetriebenen Stollen den See, der ja nur durch die atmosphärischen Niederschläge gespeist wird, abzapfen und auf gleichem Wege auch die Niederschlagswasser dauernd entfernen.

Von Bedeutung ist in Vulkangebieten mit Aschenauswürfen die Bedachung der Häuser. Bei den letzten schweren Aschenausbrüchen des Vesuvs sind zahlreiche Gebäude dadurch zerstört worden, daß durch die Last der auf die flachen Dächer niederfallenden und dort liegenbleibenden Aschenmassen das Dach eingedrückt, das Innere des Hauses zerstört und die Bewohner getötet wurden. Hier sind steile Dächer, welche die fallende Asche sofort abgleiten lassen, am Platze und von der Baupolizei zu fordern.

IV. Das Wasser im Boden.

Ein ungemein umfangreiches Gebiet geologischer Betätigung bietet das im Boden befindliche Wasser, seine Nutzbarmachung und seine Beseitigung an Stellen, an denen es schädlich wirkt. Bei den engen Beziehungen zwischen der physikalischen und chemischen Beschaffenheit des Grund- und Quellwassers und der von ihnen durchflossenen Gesteine erstreckt sich die Mitwirkung des Geologen auf 1. Wasserversorgungen, 2. Entwässerungsanlagen, 3. Kanalisationsarbeiten, 4. Talsperrenbau, 5. Bewässerungsanlagen, 6. Fragen des Bäderwesens.

a) Wasserversorgung.

Jedes größere Gemeinwesen ist heute von der Einzelversorgung durch Brunnen zur zentralen Wasserversorgung aus Quell- oder Grundwasser übergegangen. Aber nicht überall standen den Städten und Dörfern auf ihrem eigenen Grund und Boden die erforderlichen, auf 50—200 Liter pro Kopf und Tag zu veranschlagenden Grundwassermengen zur Verfügung. Dies war vielmehr nur bei solchen Städten der Fall, die in breiten, wasserreichen, mit mächtigen Sanden und Kiesen ausgefüllten Tälern heutiger oder früherer Flüsse liegen. In den meisten Fällen aber war es notwendig, auf geologischer Grundlage nach solchen Stellen zu suchen, die möglichst einwandfreies Trinkwasser in genügenden Mengen zu liefern versprachen und zugleich den Vorteil möglichst geringer Entfernung vom Ursprungsgebiete boten. Bei Großstädten mit ihrem gewaltigen Wasserbedarfe ließen sich diese Bedingungen nicht überall leicht erfüllen. Paris z. B. bezieht sein Wasser aus einer ganzen Reihe von Entnahmegebieten, die bis zu 150 km von der Stadt entfernt liegen, so daß der Plan erwogen wird, den gesamten Wasserbedarf aus der keimfreien Tiefe des Genfer Sees zu entnehmen und 480 km weit über das Juragebirge hinweg dem Verbrauchsorte zuzuführen. Wien bezieht sein Trinkwasser aus 75 km Entfernung aus den Alpen und nutzt einen Wasserhorizont in der Trias über den undurchlässigen Werfener Schiefern. Berlin hat

den Vorzug, seinen gesamten Wasserbedarf aus mehreren Grundwasseranlagen zu beziehen, die nicht weiter als 15 km von den Randgebieten der Stadt entfernt liegen. Eine Wasserleitung von 500 km Länge war erforderlich, um die im Wüstengebiete liegenden reichen Goldlagerstätten von Calgoorlee und Coolgardie in Westaustralien ausbeutungsfähig zu machen. Leicht wieder ist die Wasserversorgung von Städten, die in großen, breiten Flußtälern, wie dem des Rheines, liegen. Eine große Zahl von Städten, von Basel bis Rotterdam, werden aus dieser unerschöpflichen Quelle versorgt. Gelegentlich können besondere chemische Eigenschaften das Wasser der großen Flußtäler für Trink- oder gewisse Gebrauchszwecke untauglich machen, wie der Kochsalzgehalt im Elbtalgrundwasser bei Magdeburg, der von den salzigen Grubenwässern des Mansfelder Bergbaus herrührt, oder der Mangangehalt des Grundwassers im Odertale bei Breslau, der aus Manganknollen herrührt, die in der über dem Grundwasser liegenden Schlickschicht sich finden, bei Luftzufuhr oxydiert und bei Hochwasser in Lösung nach unten in das Grundwasser geführt werden.

Bei der Auswahl eines Gebietes für eine zentrale Wasserversorgung sind eine ganze Reihe von Gesichtspunkten zu beachten: ein solches soll dauernd die geforderte Wassermenge liefern können und bedarf deshalb eines Nährgebietes von entsprechender Größe. Das Wasser soll wohlschmeckend sein, seine Härte, d. h. sein Kalkgehalt soll eine gewisse Grenze nicht überschreiten, es soll farblos sein und darf keine zu großen Mengen von Eisenverbindungen enthalten, die sich an der Luft oxydieren und durch Ockerabscheidung das Wasser trüben können, und es darf vor allen Dingen keine gesundheitsschädlichen Beimengungen, vor allem keine pathogenen Keime enthalten, durch die Krankheiten verbreitet werden könnten. Ein Teil der Mängel des Wassers läßt sich künstlich beseitigen: Trübungen können durch Sandfiltration zum Verschwinden gebracht werden, zu hoher Kalkgehalt läßt sich durch Enthärtung mit Permutit beseitigen, der Eisengehalt läßt sich durch Durchlüftung auf ein durchaus erträgliches Maß zurückführen, wogegen der Mangangehalt nur schwierig und der Kochsalzgehalt mit billigen Mitteln überhaupt nicht zu beseitigen ist.

Bei der Veranschlagung des Wasserbedarfes für ein Gemeinwesen rechnet man in mehr ländlichen Orten 50 Liter, in Städten mit wenig Industrie 100 und in Großstädten mit viel Industrie 200 Liter täglich auf den Kopf der Bevölkerung, dazu kommen noch 50 Liter pro Haupt Großvieh. Daraus läßt sich leicht der Jahresbedarf und aus diesem die Mindestgröße des Nährgebietes für die Wasserentnahmestelle berechnen, wobei man im allgemeinen annehmen darf, daß auf dasselbe soviel Niederschläge fallen müssen, daß deren Summe mindestens 5—10 mal größer ist als der Wasserbedarf. Diese Zahl entspricht ungefähr dem zur Versickerung gelangenden, Grundwasser bildenden Anteil der Niederschläge, ist also sehr viel geringer als die Menge von Niederschlagswasser selbst, die durch Verdunstung, oberirdischen Abfluß und Verbrauch durch die Pflanzenwelt stark vermindert wird. Die in chemischer Beziehung reinsten Wasser finden wir in Sandstein- und Granitgebieten. Grundwässer in Kalkgebieten sind gewöhnlich recht hart, Wässer, die aus gipshaltigen Gesteinsschichten stammen, sind meist bittersalzhaltig und zum Hausgebrauche ungeeignet; die Wässer im norddeutschen Diluvium sind größtenteils durch einen erheblichen Eisen- und öfter auch durch einen recht unbequemen Mangan-

gehalt unvorteilhaft ausgezeichnet und bedürfen deshalb fast immer vorheriger künstlicher Behandlung. In Alluvialgebieten mit reichlicher Torf-Humusbildung wird das an sich meist reichliche Wasser leicht durch Beimischung von Humusverbindungen unangenehm in Farbe und Geschmack beeinflußt.

Ganz besondere Vorsicht ist natürlich erforderlich, um das für Tausende und Hunderttausende von Menschen bestimmte Trinkwasser vor Verseuchung durch gesundheitsschädliche Bakterien zu bewahren. Die Entnahme von Wasser aus offenen, fließenden und flachen stehenden Gewässern ist immer bedenklich, wogegen das Wasser Hunderte von Metern tiefer Seen in der Tiefe immer frei von schädlichen Keimen ist. Abdeckereien, Friedhöfe, Rieselfelder, Latrinenanlagen, Müllabfuhrstätten und ähnliche Plätze, an denen die menschlichen und tierischen Abfall- und Stoffwechselprodukte zur Ansammlung oder Verarbeitung gelangen, gehören nicht in die Nähe eines Wasserwerkes und müssen von einem solchen mindestens einige Kilometer entfernt bleiben. Auch die Behandlung von Wiesen und Feldern mit animalischem Dung und Jauche unterbleibt in der Nähe von Wasserwerken am besten ganz. Am wenigsten gefährdet sind letztere, wenn man sie in großen Waldgebieten errichten kann oder in dünn bevölkerten Gegenden mit wenig Ackerbau.

Das Wasser findet sich im Boden entweder als Ausfüllung der Hohlräume zwischen den einzelnen Körnern lockerer Gesteine (Sande und Kiese), die dann als durchlässig bezeichnet werden, oder als Ausfüllung größerer Hohlräume, die in festen, an sich undurchlässigen Gesteinen auftreten. Dahin gehören: Schichtflächen, Risse, Spalten, Klüfte, Verwerfungen und Höhlen der mannigfaltigsten Gestalt und Größe, Blasenräume vulkanischer Gesteine und ähnliches. Viele unserer festen Gesteine sind nur durch ihren Besitz an solchen Hohlräumen wasserführend und die von ihnen eingenommenen Gebiete nur dadurch bewohnbar. Die verschiedene Art der wassererfüllten Räume im Boden bedingt auch verschiedene Arten der Wassererschließung: Das Grundwasser wasserführender Lockerbildungen wird aus Brunnen oder Bohrlöchern gewonnen, denen von allen Seiten her Ersatz für das entnommene Wasser zufließt. Im klüftigen Gestein sind dagegen Brunnen nur dann angebracht, wenn die Klüfte so eng stehen, daß jeder Brunnen eine oder mehrere derselben antreffen muß. Wo dies nicht der Fall ist, muß man das Wasser mit Schächten oder Stollen zu fassen versuchen, wobei die Stollen in den das meiste Wasser führenden Schichten vorgetrieben werden. Manchmal kann man auch ein ergebnisloses, d. h. in trockenem Stein stehendes Bohrloch noch ergiebig machen, indem man, je nach der Tiefe, eine Menge von 5—10 kg Dynamit zur Entflammung bringt und dadurch die Bohrlochwandungen auf einige Entfernung hin zertrümmert. Dann kann es leicht kommen, daß benachbarte wasserführende Klüfte mit dem Bohrloch in Verbindung gebracht werden und das Wasser in dieses eintritt. Am besten eignen sich für solche Versuche feste Quarzite, Sandsteine, Kalksteine, Granite und andere Eruptivgesteine, während sehr tonige Gesteine naturgemäß ungeeignet sind.

Große Wasserversorgungsanlagen besitzen oft Hunderte von Brunnen, die in langen Linien senkrecht zur Fließbewegung des Grundwassers angeordnet und durch Hebeleitungen miteinander verbunden sind, so daß sie durch eine auf eine größere Anzahl von Brunnen gleichzeitig wirkende Pumpe abgesaugt werden können. Die Fließrichtung des Grundwassers wird vorher in der Weise bestimmt, daß man

Blick in das Tal der Vaucluse.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

durch Nivellement der durch Bohrungen aufgedeckten Grundwasserspiegel ihre Höhenlage in bezug auf Normalnull ermittelt und alle Punkte gleicher Spiegelhöhe durch Schichtlinien untereinander verbindet. Dann ist eine Linie rechtwinklig zu diesen Schichtlinien die Fließrichtung. Um die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers zu messen, eine Zahl, deren man für die Ermittlung der Ergiebigkeit bedarf, verfährt man folgendermaßen: Man deckt den Spiegel des Grundwassers durch Brunnen an zwei in der Strömungsrichtung gelegenen Brunnen im Abstande einiger Meter auf, bringt eine konzentrierte Kochsalzlösung in den flußaufwärts liegenden Brunnen und hängt in den einen Brunnen die Anode, in den anderen die Kathode eines Stromkreises. Der Stromschluß erfolgt durch das Grundwasser und der Widerstand, den es dem Durchgang bildet, wird durch ein Ampèremeter angezeigt. Die Leitungsfähigkeit des Wassers wächst mit der in ihm enthaltenen Salzmenge. Infolgedessen zeigt das Ampèremeter einen plötzlichen, kräftigen Ausschlag in dem Augenblicke, in dem die Salzlösung den Kathodenbrunnen erreicht hat. Die Zeit, die zwischen diesem Augenblick und dem der Salzung des ersten Brunnens vergangen ist, gibt die zur Zurücklegung des Weges von einem Brunnen zum anderen erforderliche Zeit und damit die Geschwindigkeit der Grundwasserbewegung an.

Viele, insbesondere kleine Wasserversorgungen benützen kein Grundwasser, sondern Quellwasser, d. h. natürliche Austrittsstellen des Grundwassers an die Oberfläche. Quellen werden fast immer durch den Wechsel durchlässiger, wasserführender mit undurchlässigen, wasserfreien Gesteinen verursacht, doch hängt ihre Entstehung auch in hohem Maße von der Lagerung der Gesteine ab. Man kann die gewöhnlichen kalten Quellen nach der Art der Bewegung des zutage tretenden Wassers in aufsteigende und absteigende einteilen. Bei horizontaler Gesteinslagerung werden auf der Linie, auf der sich durchlässige auf undurchlässige Gesteine auflegen, überall an Gehängen, an denen solche Schichten ausstreichen, kleine Quellen zutage treten. Sind aber die Schichten zu Mulden und Sätteln gefaltet und schneidet ein Tal quer durch ein solches gefaltetes Schichtensystem hindurch, so werden an den Schnittstellen des Tales mit den Sätteln keine, dagegen in den Mulden besonders kräftige Quellen auftreten. Durch Verwerfungen werden auf sehr mannigfaltige Art Quellen erzeugt, wie es durch die beiden folgenden Querprofile angedeutet wird. In dem einen Falle (Abb. 174) sind durchlässige Schichten durch die Verwerfung neben undurchlässige gelegt, so daß letztere eine Art von Staumauer für die in ersteren eingeschlossenen Wassermengen bilden. Die herandrängende weitere Wassermenge findet keinen Raum mehr vor und muß als Quelle zutage treten. Im zweiten Falle (Abb. 175) werden die in die Tiefe versinkenden Wasser durch die Verwerfung wieder zum Aufsteigen gezwungen und erscheinen auf der Verwerfung an der Oberfläche. Ganz besonders große Quellen entstehen, wenn mächtige Massen klüftiger Kalke oder Sandsteine auf undurchlässigen Tonen oder Mergeln aufliegen, die in flach-schüsselförmiger Lagerung auftreten: der allergrößte Teil der Niederschläge versinkt im klüftigen Gestein, sammelt sich auf der Tonunterlage und füllt dieselbe höher und höher auf, bis schließlich das immer mehr steigende Wasser die tiefste Stelle des Schüsselrandes erreicht und über diese abfließen muß. So kann unter Umständen der allergrößte Teil der versickernden Niederschläge eines Quadratmeilen großen Gebietes an einer einzigen Stelle abfließen, wie dies bei der berühmten Vaucluse-

quelle in Südfrankreich (Tafel) der Fall ist. Eine andere Gruppe von Quellen entsteht dadurch, daß sich bei flach geneigter Schichtenlagerung undurchlässige Tone auf wasserführende Sandsteine oder Kalksteine konkordant auflagern (Abb. 176). So ist die Entstehung der wasserreichen Paderquellen in der Stadt Paderborn (Tafel). Auf die flach nach Westen fallenden Kreidekalke legen sich die tonigen Schichten des Emscher; die vom Eggegebirge in den überaus klüftigen, hohlraumreichen Kalken heranfließenden Wassermengen finden beim Erreichen der Emscherauflagerung keinen genügenden Querschnitt mehr und müssen ihren Wasserüberschuß infolgedessen zutage treten lassen. Quellen dieser Art werden als Stauquellen bezeichnet. Andere berühmte deutsche Quellen sind die Ruhmequelle in Ostthüringen, die Dockeröderquelle am Meißner, die Lippequelle bei Lippspringe und der Blautopf bei Blaubeuren.

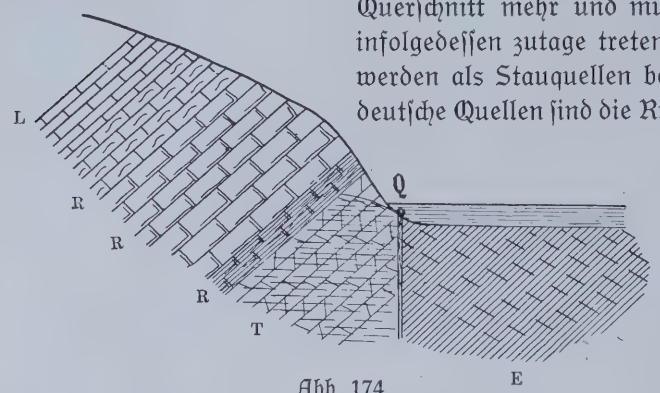


Abb. 174.

Ehe wir das Kapitel der Wassergewinnung schließen, müssen wir noch einer Art der Wassergewinnung gedenken, nämlich aus Wasser, welches unter eigenem Drucke aus der Tiefe der Erde emporsteigt und als artesisch bezeichnet wird. Die folgenden Profile geben eine Reihe von Möglichkeiten der Entstehung artesischen Wassers an, die sich alle auf bestimmte Vorkommen beziehen. Die anschaulichste Form ist die der muldenförmigen Lagerung (Abb. 177). Das bei A versickernde Wasser füllt die muldenartig gelagerten, durchlässigen Gesteine bis nahe an die Oberfläche auf. Ein im Innern der Mulde niedergebrachtes Bohrloch erreicht das Wasser tief unter seiner Oberfläche, so daß es unter kräftigem Drucke steht und, diesem folgend, zutage tritt. Auf diese Art sind die berühmten artesischen Brunnen der Stadt Paris entstanden. Diese Lagerung kann nun eine Reihe von Modifikationen erfahren: die wasserführende Schicht kann sich auskeilen (Abb. 178) oder nach der Seite hin undurchlässig werden (Abb. 179) oder es können zwei wasserführende Horizonte übereinanderliegen, deren tieferer ein höheres (Abb. 180) oder ein niedrigeres (Abb. 181) Druckniveau besitzt, als der obere.

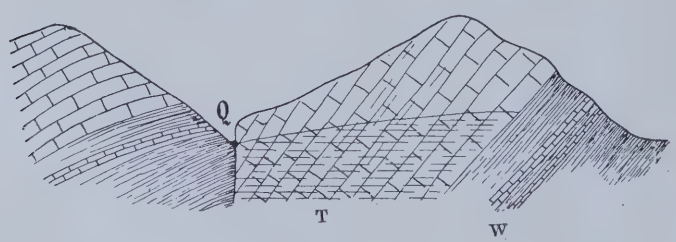


Abb. 175.

Wenn eine Schichtenfolge erst steil fällt und dann sich verflacht, eine Lagerung, die man als Flexur bezeichnet, so können riesige Gebiete mit Druckwasser in der Tiefe versorgt werden, indem die im aufgebogenen Teile versinkenden Wässer in der von undurchlässigen Schichten eingeschlossenen, durchlässigen Bank immer weiter fortgeführt werden. Im Felsengebirge der Vereinigten Staaten liegt ein solcher

Fall in ganz großem Maßstabe vor: der durchlässige Dakotasandstein (Abb. 182) streicht hoch im Gebirge zutage aus. Auf seiner Ausstrichlinie versinken ganze Flüsse in die Tiefe und bis zu 1000 km weiter im Osten erbohrt der Farmer in Dakota und Nebraska in Tiefen von mehreren hundert Metern das kostbare Wasser in Bohrlöchern, aus denen der Wasserstrahl bis 100 m hoch über die Oberfläche emporzusteigen vermag.

Sogar ganz flache Neigungen konkordanter Schichtentafeln mit wechselndem durchlässigem und undurchlässigem Gestein vermögen Druckwasser zu erzeugen, wie folgendes Profil (Abb. 183) veranschaulicht: Auf mehrere nach links hin schwach fallende, durchlässige Sandsteinfolgen a und b legen sich undurchlässige Tone auf und das ganze Schichtensystem fällt etwas stärker als die Oberfläche ein. Die bei a und b im Ausstreichen der durchlässigen Schichten versinkende Wassermenge wandert in der Schicht abwärts und ein in weiter Entfernung angesetztes Bohrloch trifft sie vielleicht erst bei etwa 1000 m Tiefe an. Wenn der Ansatzpunkt dieses Bohrloches tiefer liegt als das Nährgebiet bei a, so steigt das Wasser bis über die Tagesoberfläche empor, anderenfalls nähert es sich ihr nur, ohne sie ganz zu erreichen.

Völlig verschieden von dem Verhalten des Wassers im durchlässigen Gestein ist das Kluftwasser im undurchlässigen; es bildet in ihm ein Netz von Adern und Maschen, die untereinander in vielfachem Zusammenhange stehen. Trotzdem können sich dabei ganz verschiedene Wasserspiegel entwickeln; wenn nebeneinanderliegende Kluftsysteme einmal zufällig keinen Zusammenhang besitzen. Das ist besonders oft in Kalkgebirgen der Fall, in denen infolge der Löslichkeit des Kalkes im Wasser die Spalten kräftig erweitert und in Höhlensysteme umgewandelt werden können. Die Bewegung des Wassers in solchen stark zerklüfteten, von Höhlen durchzogenen Gebirgen erfolgt sehr viel schneller als in Sanden, Kiesen und Schottern. Auch

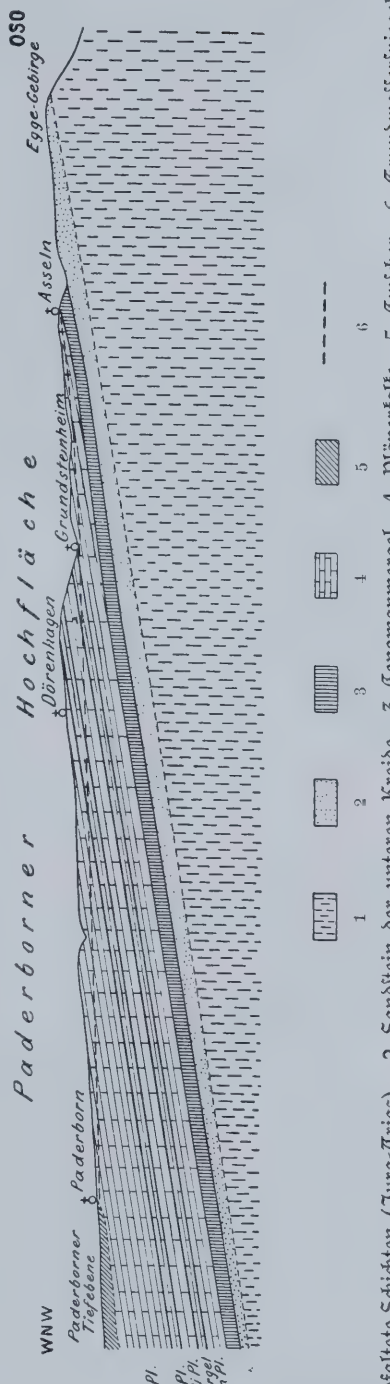


Abb. 176.
1. Ältere gefaltete Schichten (Jura-Trias). 2. Sandstein der unteren Kreide. 3. Cenomanmergel. 4. Pläner kalke. 5. Emscher. 6. Grundwasserspiegel.

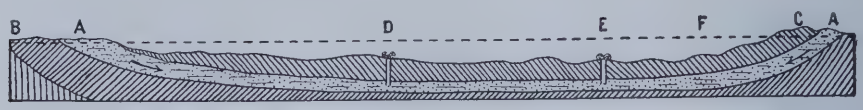


Abb. 177.

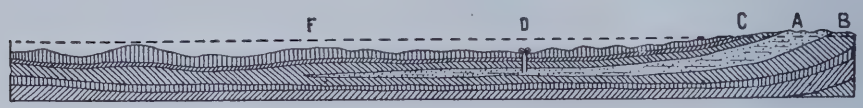


Abb. 178.

Abb. 179.

Zeichenerklärung zu Abb. 177—179: A Durchlässige Schichten, wasserführend. B und C Undurchlässige Schichten. D Bohrloch oder Brunnen. F Druckhöhe.

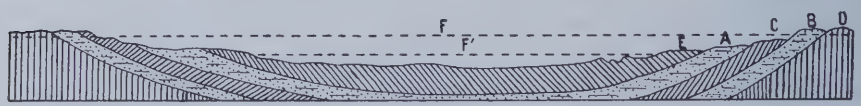


Abb. 180.

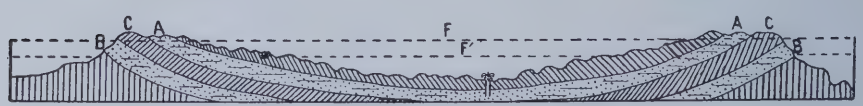


Abb. 181.

Zeichenerklärung zu Abb. 180—181: A und B Durchlässige Schichten. C, D und E Undurchlässige Schichten. F Druckhöhe von B. F_1 Druckhöhe von A.

Abb. 182. a b d e Undurchlässige Tone. c Durchlässiger Dakotasandstein.

Abb. 183. (Ist im Text erläutert.)

fällt hier die natürliche Filterung fort, so daß in hygienischer Beziehung solche Spaltenwasser viel leichter zu Beanstandungen Anlaß geben. Während ein Filtrationsweg von einigen Kilometern Länge im Sande alle Keime zurückhält und alle mechanischen Verunreinigungen abscheidet, kann das Kluftwasser selbst nach meilenlanger unter-

irdischer Wanderung noch recht trübe sein und durch sein Aussehen auf jeden stärkeren Niederschlag im Nährgebiete augenfällig reagieren. Überall, wo Täler bis unter den Grundwasserspiegel in solche zerklüfteten Gebirge einschneiden, entstehen Quellen, die das überschüssige Wasser abführen. Oft entziehen sie sich der unmittelbaren Wahrnehmung, indem sie im Flußbette selbst entspringen und dessen Wassermenge vermehren. In sandigen Flußbetten kann man solche Unterwasserquellen leicht an der wirbelnden Bewegung des Sandes erkennen.

Abb. 184. Wasserhaltung einer Braunkohlengrube der Lausitz.

b) **Wasserbeseitigung.**

Oft ist es nötig, Wasser zu beseitigen, weil es irgendwelchen wirtschaftlichen Unternehmungen Hindernisse bereitet. Dann gilt es zu ermitteln, welche Wassermengen bei den Trockenlegungsarbeiten zu erwarten sind, wie weit deren Einwirkung nach den Seiten hin sich ausdehnen wird, welche Begleiterscheinungen damit verbunden sein werden und wie man etwaige Schäden der letzteren möglichst verhüten kann. Insbesondere müssen im Bergbau- und Steinbruchbetriebe häufig große Wassermengen beseitigt werden, um an die zu gewinnenden nutzbaren Ablagerungen überhaupt heranzukommen. Besonders haben die großen Braunkohlentagebaue oft einen schweren Kampf mit dem Wasser zu führen und müssen mit gewaltigen Pumpenanlagen dessen Herr zu werden versuchen (Abb. 184). Wir kennen in Mitteldeutschland Braunkohlengruben, die zeitweilig Wassermengen von mehr als 100 cbm in der Minute fördern mußten und deren Abfluß einen für kleine Boote befahrbaren, rasch fließenden Bach bildet. Man kann sich eine Vorstellung von dieser Wassermenge machen, wenn man erwägt, daß sie für die Versorgung einer Stadt von einer Million Einwohnern ausreicht. Die Entnahme solcher Wassermengen übt naturgemäß allerlei Einwirkungen auf die Umgebung aus: Um den betreffenden Tagebau herum bildet sich im Grundwasser ein mehr oder weniger regelmäßiger Senkungstrichter, der anfangs ziemlich regelmäßig ansteigt, um

sich dann allmählich zu verflachen (Abb. 185). Das von solchem Senkungstrichter eingenommene Gebiet bezeichnet man als Grundwassersenkungsgebiet. Es besitzt im stehenden Grundwasser kreisförmige, im fließenden mehr oder weniger elliptische Gestalt und kann mit seiner größeren Achse bis zu 10 km Länge erreichen. Innerhalb eines solchen Senkungstrichters werden alle nicht hinreichend tiefen Brunnen trocken gelegt, während in den übrigen der Wasserspiegel im Innern des Trichters mehr, nach außen hin immer weniger gesenkt wird. Moore, Sümpfe und Wiesen werden trocken gelegt, Erlenbrüche vernichtet, viele Bäume, Sträucher und Kräuter,

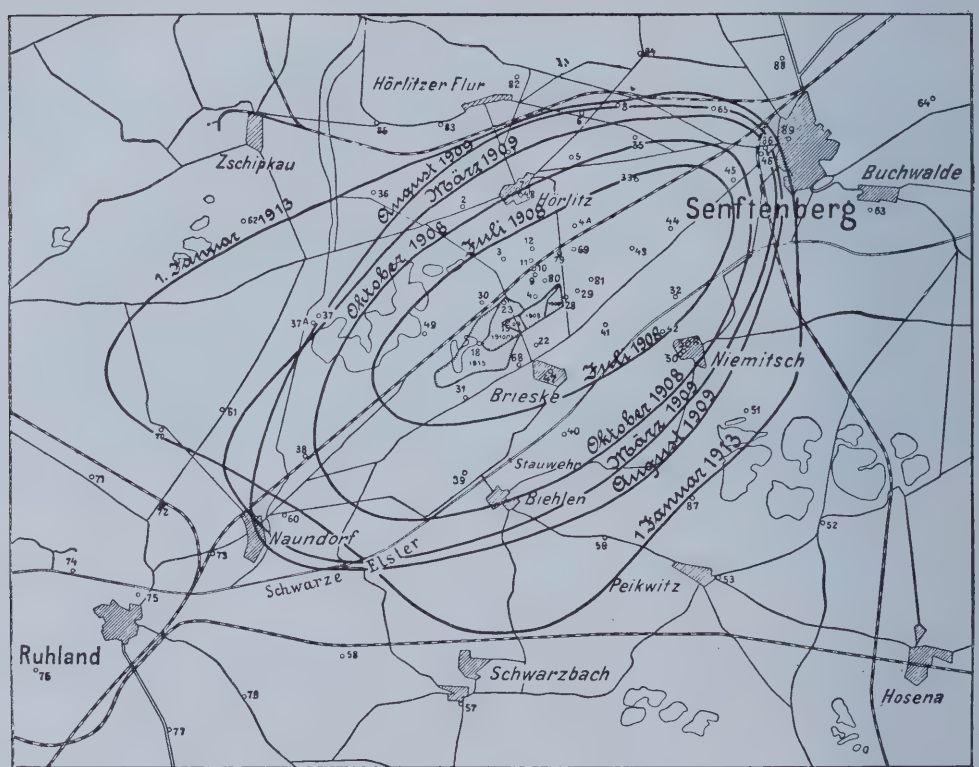


Abb. 185. Fünf aufeinander folgende Zustände eines großen Senkungstrichters im Lausitzer Urstromtale. Die mehr oder weniger elliptischen Kurven bezeichnen die äußeren Ränder des Senkungstrichters, die kleinen Kreise mit Nummern die Beobachtungspegel.

die für ihr Gedeihen flaches Grundwasser benötigen, gehen ein, und die landwirtschaftlichen Betriebe müssen in solchen Gebieten oft vollständig umgestellt werden. Die Wasserversorgung der Dörfer durch Brunnen hört auf und muß durch Leitungen ersetzt werden. Die Schäden an der Oberfläche werden um so größer, je näher unter der Oberfläche das Wasser vorher gestanden hatte. Werden aber Gebiete von solcher Senkung des Grundwassers betroffen, in denen sein Spiegel schon vorher mehrere Meter unterhalb der Bewurzelungsgrenze der Bäume und Kulturgewächse gestanden hatte, so beschränkt sich die schädliche Einwirkung zumeist auf die Brunnen, während die Vegetation, die von dem tiefliegenden Grundwasser schon vorher keinen Nutzen mehr haben konnte, kaum noch beeinflußt wird. Ähnlich wie der

Bergbau wirken auch Steinbrüche und vor allem die Wassergewinnungsanlagen unserer großen Städte, die, soweit sie im Flachlande oder in breiten Tälern liegen, ausnahmslos beträchtliche Senkungstrichter erzeugen, wenn deren Größe auch hinter der der bergbaulichen Absenkungen meist weit zurückbleibt. Die Einwirkung aller solcher Anlagen auf das Grundwasser hört erst dann auf, wenn sie endgültig eingestellt werden; dann füllen sich die Hohlräume des Gesteins wieder mit Wasser, der Spiegel desselben steigt im gesamten Senkungsgebiete wieder an und erlangt je nach der Größe des Senkungstrichters früher oder später, längstens aber in einigen Jahren, seine frühere Höhenlage wieder, worauf dann allmählich wieder die früheren Vegetations- und Kulturverhältnisse sich einstellen. Kürzere Zeit andauernd, aber

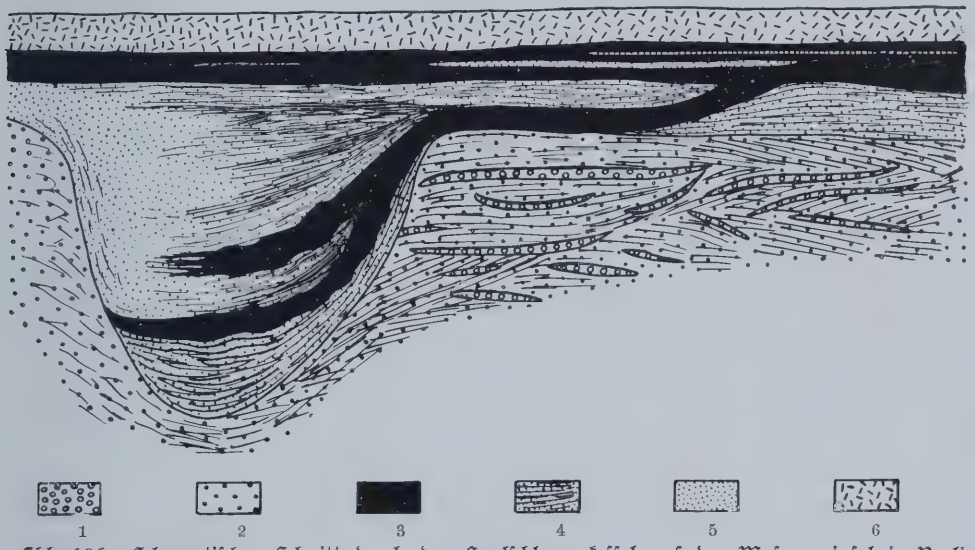


Abb. 186. Schematischer Schnitt durch den Faulschlammkessel auf der Museumsinsel in Berlin. 1. Talkies. 2. Talsand. 3. Faulschlamm. 4. Faulschlammsand. 5. Faulschlammarmer Sand. 6. Schutt.

auch von weitreichenden Wirkungen begleitet, sind die Eingriffe in das Grundwasser bei unterirdischen Bauwerken, wie Untergrundbahnen, Untertunnelungen von Flüssen, Tieffundierungen von Theatern, Schleusenbauten und ähnlichen Arbeiten. So mußte beim Bau der Berliner Untergrundbahn der von vornherein sehr flache Grundwasserspiegel in der Innenstadt derart stark gesenkt werden, daß die Einwirkung bis zu 2—3 km Entfernung von der Baustelle sich geltend machte. Berlin liegt eben in einem wasserreichen Urstromtale mit sandig-kiesiger Ausfüllung, während beispielsweise London den Bau seines riesigen Untergrundbahnnetzes und seiner vielen und langen Untertunnelungen der Themse sehr viel bequemer ausführen konnte. Englands Hauptstadt liegt auf einem mehr als 100 m mächtigen Lager fetten, undurchlässigen, alttertiären Meerestones, in den auch das Themsebett eingeschnitten ist, so daß alle Arbeiten ohne jede Belästigung durch Grundwasser ausgeführt werden konnten. Von großem Interesse waren auch die Arbeiten bei dem Bau des letzten Museums auf der Museumsinsel in Berlin. Dieses große und schwere Gebäude mußte über einem etwa 30 m tiefen, nach unten sich trichterförmig verengendem, mit Faulschlammsanden ausgefüllten Kessel errichtet werden

(Abb. 186). Dicht neben der durch Spundwände abgedichteten Spree wurde der Wasserspiegel durch Abpumpen um 23 m gesenkt, der Kessel selbst vollständig ausgeräumt (Tafel) und dann quer über ihn hinweg eine Brücke eingebaut werden, in welche ein hohler, aus starken Eisenplatten gebauter Kasten eingebaut war, der als Unterlage des Gebäudes selbst diente. Nach Einbau des Kastens wurde der Pumpenbetrieb eingestellt, währenddessen einige 20 cbm in der Minute gefördert werden mußten; das Grundwasser stieg schnell wieder zur alten Höhe empor, der hohle, mit Luft gefüllte Kasten schwamm gewissermaßen in ihm und trug durch seinen Auftrieb zu einer starken Verminderung des Druckes des Bauwerkes auf den Untergrund bei. Die beigegebene Tafel zeigt die stark geneigten, nach oben hin immer flacher lagernden Faulschlammschichten und den Umfang der zu ihrer Beseitigung erforderlichen Arbeiten.

c) Kanalisation.

Die Beseitigung der städtischen Abwässer erfolgt in den meisten Städten durch die sogenannte Schwemmkanalisation. Die verdünnten Abwässer werden nach einem ersten Klärprozesse, bei dem die gröbsten Bestandteile abgeschieden werden, durch mächtige Pumpanlagen in meterdicken Röhren weit hinaus aufs Land geführt, dort durch ein System von Gräben über schwach geneigte, besonders dafür vorgerichtete Ackerflächen verteilt und gelangen von hier aus wieder in den Boden hinein; alle im Wasser befindlichen festen Bestandteile werden vom Boden zurückbehalten, ein Teil der in den Abwässern gelösten Salze wird von der auf den Rieselfeldern üppig gedeihenden Vegetation verbraucht, das gereinigte, nur noch an löslichen Salzen, vor allem an Chlor-, Schwefelsäure- und Stickstoffverbindungen reiche Wasser wandert im Boden in die Tiefe, bis es das Grundwasser erreicht. In diesem erfährt es eine starke Verdünnung, wandert mit ihm weiter und gelangt schließlich in vollkommen unschädlichem Zustande in die offenen Gewässer zurück. Die Auswahl eines Geländes für Berieselungszwecke setzt eine gründliche geologische Voruntersuchung voraus, und zwar aus folgenden Gründen: Das zu berieselnde Land darf nicht aus undurchlässigem Gestein bestehen, weil sonst keine Bodenfiltration möglich wäre. Es darf aber auch nicht aus gar zu leicht durchlässigen Bildungen, etwa groben Kiesen oder Schottern, bestehen, weil sonst das Wasser zu schnell im Boden verschwinden und die Vegetation keine Zeit haben würde, die in ihm enthaltenen Nährstoffe zu assimilieren. Am besten eignen sich demnach für Berieselungszwecke Sandböden mittlerer Korngröße, die eine etwas lehmige Ackerkrume besitzen. Ferner ist bei der Auswahl des Geländes zu berücksichtigen, daß das versinkende Wasser zunächst einen nicht zu kurzen, senkrechten Weg zu durchmessen hat, ehe es das Grundwasser erreicht, weil während dieser Wanderung durch die Bodenbakterien noch allerlei Umwandlungen unangenehmer Beimengungen, vor allem der Stickstoffverbindungen, herbeigeführt werden. Ferner ist zu bedenken, daß das versenkte Rieselwasser hernach mit dem Grundwasser weiterwandert und es ist zu untersuchen, ob die stark angewachsene Wassermenge auf ihrem weiteren Wege nicht allerlei Unheil anrichten kann. Dies kann auf mancherlei Art geschehen, und wir wollen einige solcher Einwirkungen an der Hand der Praxis betrachten: So hatte die Stadt Charlottenburg ihr Rieselfeld südlich von Spandau auf einer

Hochfläche angelegt, an die nach Norden das Berliner Urstromtal, nach Osten die Havel und nach Süden eine breite Bodensenke bei Gatow angrenzte. Das in die Tiefe versinkende Rieselwasser fand hier bereits einen Grundwasserhorizont vor (Abb. 187 und 188), der durch eine im Havelniveau liegende Geschiebemergelbank gebildet wurde; durch die Einführung gewaltiger Mengen von versickertem Rieselwasser wurde der Grundwasserspiegel um mehrere Meter aufgehöht. Diese Aufhöhung beschränkte sich natürlich nicht auf den Untergrund des Rieselfeldes, sondern wanderte mit dem abfließenden Grundwasser allseitig weiter und äußerte sich in starker Vermehrung schon früher vorhanden gewesener, kleiner Quellen an der Havel und in einem Ansteigen des an sich schon flachen Grundwassers im Urstromtale und in der Gatower Senke. Durch dieses Ansteigen wieder wurden in einer

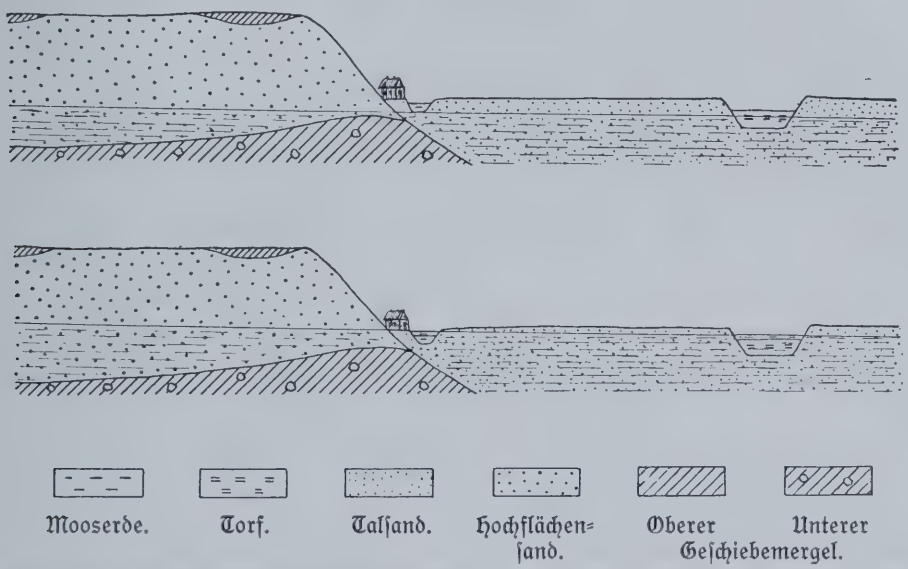


Abb. 187 und 188. Grundwasserverhältnisse des Charlottenburger Rieselfeldes südlich von Spandau vor und nach der Berieselung.

Reihe von Häusern die vorher trockenen Keller unter Wasser gesetzt, die Häuser wurden feucht, Balken und Dielen verfaulten und die Tapeten verschimmelten. Auf den Äckern stieg das Grundwasser so hoch, daß die Ackerbestellung unmöglich wurde und vorher gute Wiesen verwandelten sich in Sümpfe mit das ganze Jahr hindurch stagnierenden Wasserflächen. All dieses Unheil, welches zu zahlreichen Prozessen führte, wäre bei einer vorausgegangenen geologischen Untersuchung zu erkennen gewesen und hätte vermieden werden können, wenn das Rieselfeld von vornherein nach Norden und Süden durch hinreichend tiefe Isolierkanäle, die alles aus der Hochfläche heraustretende Wasser abfingen, hydrologisch von seiner Umgebung getrennt worden wäre. So aber wurden diese Arbeiten erst ausgeführt, als der Schaden schon angerichtet war, und es dauerte fast ein Jahr, bis der ursprüngliche Zustand wiederhergestellt war. Ähnliche Verhältnisse haben sich auch bei anderen Rieselfeldanlagen gezeigt. Da, wo ganze Dörfer in dem sogenannten Immissionsgebiete des Rieselfeldes liegen, kommt als weiterer Schaden noch ein

Unbrauchbarwerden der Brunnen durch Eindringen des an allerlei Salzen reichen und nicht ganz keimfreien Rieselwassers dazu, wodurch die ganze Wasserversorgung eines Ortes auf das schwerste gefährdet werden kann. Heute werden wohl alle geplanten Rieselfeldanlagen einer genauen geologischen Vorprüfung unterworfen, so daß für die Verhütung möglicher Schäden rechtzeitig Sorge getragen werden kann.

d) Talsperrenbau.

Unter einer Talsperre versteht man bekanntlich die künstliche Aufstauung eines Flusses durch einen quer über sein Tal gezogenen Damm. Dieser hindert das Wasser am Abfluß, es steigt an und verwandelt das Tal in einen See, dessen Tiefe von der Höhe des Dammes, dessen Länge von dem Neigungswinkel des Tales abhängig ist. Die Aufstauung erfolgt entweder zum Zwecke der Kraftgewinnung oder für Berieselungsanlagen oder zur Trinkwassergewinnung oder auch zur Verhütung von Hochwassergefahren und zur Verbesserung der Schiffahrt durch möglichst gleichmäßige Verteilung des Wassers über das ganze Jahr. Jedem Talsperrenbau geht eine geologische Untersuchung des Geländes voraus, die eine Reihe von Gesichtspunkten zu prüfen hat, und zwar einmal die Beschaffenheit des Talbodens an der Stelle der Sperrmauer, dann die Beschaffenheit der Talwände da, wo die Sperrmauer sich an sie anlehnt, und schließlich die geologische Beschaffenheit der Talwände oberhalb und unterhalb der Mauer. Die Sperrmauer muß in festem, undurchlässigem Gestein fundiert werden, deshalb müssen alle losen Flußablagerungen quer über das Tal bis auf den gewachsenen Felsboden oder bis auf undurchlässige Gesteine abgetragen werden. Wenn die Baugrube der Mauer aus Felsen besteht, so darf dieser nicht klüftig sein, weil sonst die meist unter mehreren Atmosphären Druck stehenden Wasser des Stausees unter der Mauer einen Abfluß finden könnten. Etwa vorhandene Gesteinsfugen und Klüfte müssen deshalb vorher mit großer Vorsicht und möglichst tiefreichend durch Zement gedichtet werden. Bei Talsperren im norddeutschen Flachlande, wie deren bereits eine Anzahl in Pommern und Westpreußen zur Ausführung gelangt sind, muß man trachten, die Staumauer in einer möglichst mächtigen Geschiebemergelbank zu fundieren. Tone und feine Schlifffande sind zu vermeiden, weil derartig plastische Bildungen unter dem Druck des Staudammes leicht zu seitlichem Ausweichen veranlaßt werden können, wobei sich natürlich auch der Damm selbst in Bewegung setzen würde. Überhaupt ist alles genau zu prüfen, was für die Standfestigkeit der Staumauer oder des Staudammes von Bedeutung ist, weil ein Bruch oder Zerreißen derselben furchtbare Katastrophen herbeiführen kann. Auch die Teile der Talränder, denen der Sperrdamm auflagert, müssen vorher bis auf den festen Felsen oder bis auf frische, unverwitterte, undurchlässige und standfeste Gesteine abgetragen werden. Auch hier ist streng darauf zu achten, ob der Felsen, der dem Sperrdamm auflagert, frei von Fugen und Klüften ist. Da dies naturgemäß nur selten der Fall ist, so müssen alle solche Klüfte möglichst tief in den Felsen hinein durch Einspritzen von Beton gedichtet werden. Sodann sind die oberhalb der Sperrmauer liegenden, nach erfolgter Aufstauung unter Wasser stehenden Teile des zukünftigen Stausees zu untersuchen, und es ist dabei neben der Undurchlässigkeit der Talwandungen vor allem auf das Auftreten von

Verwerfungen oder ähnlichen größeren Störungen zu achten. Durch solche können nämlich leicht große Wassermengen abgeführt werden und an unerwünschten Stellen wieder an die Oberfläche gelangen. Alle solche größeren und kleineren Klüfte sind sorgsam zu verschließen. Natürlich ist es nicht möglich, alle Teile der Wandungen eines Stausees vollkommen wasserdicht zu schließen, das ist aber auch gar nicht vonnöten, weil dieselben nach Füllung des Staubeckens mit Wasser bald durch die vom Flusse mitgeführten Sinkstoffe, für die das Staubecken ja als Klärbassin dient, gedichtet werden. Während der See sich füllt, sind unterhalb des Staues mit großer Sorgfalt alle etwa vorhandenen Quellen daraufhin zu überwachen, ob ihre Wassermenge zunimmt oder ob gar neue, wasserreiche Quellen sich bilden. Liefern diese nur kleine Mengen klaren Wassers, so haben sie nicht viel zu bedeuten, ist aber ihr Wasser getrübt und nimmt seine Menge zu, so können solche wilden Abflüsse zu einer Gefahr für das Unternehmen werden. Durch Einführung von Farbstoffen an vermuteten Versickerungsstellen kann man bisweilen den Weg solcher unerwünschten Abflüsse feststellen und Maßnahmen zu ihrer Verhinderung treffen. Die Untersuchungen dürfen sich nicht auf die unmittelbar vor dem Staudamm auftretenden Quellen beschränken, denn die unterirdisch entweichenden Wassermengen treten unter Umständen erst einige Kilometer abwärts wieder zutage. Selbst in benachbarten Tälern ist nachzuforschen, ob sich dort nicht etwa neue Quellen gebildet haben oder schon vorher bekannte eine größere Ergiebigkeit sich zugelegt haben.

e) Bewässerungsanlagen.

Die Verbesserung der Ertragsfähigkeit des Bodens durch Bewässerung erfolgt bei uns zumeist zur Schaffung künstlicher Wiesen; in anderen Ländern mit geringen Niederschlägen bildet die künstliche Bewässerung das einzige Mittel, überhaupt Landwirtschaft zu betreiben. So war es im Altertum in Mesopotamien, Ägypten und Indien, und so ist es auch heute noch in diesen Ländern und außerdem vielfach in Australien und in weiten Gebieten der mittleren und westlichen Staaten Nordamerikas sowie in Südafrika. Wo es nur irgend möglich ist, wird das Wasser der Ströme, Flüsse und Bäche, meist unter künstlicher Aufstauung durch Talsperren, dazu benutzt und die Rolle, die im Altertum der Euphrat und Tigris und heutzutage der Nil, Ganges und andere indische Flüsse spielen, ist bekannt. Wenn aber die Flüsse gerade in der Jahreszeit versagen und versiegen, in welcher der Wasserbedarf der Pflanzen am größten ist, so muß der Versuch zur Erschließung anderer Wasserquellen gemacht werden. Dann werden entweder in gewöhnlichen Rohrleitungen die erforderlichen Wassermengen aus benachbarten Gebirgen herbeigeleitet oder, wo auch dies nicht angeht, dem Schoße der Erde entnommen. In den großen Ebenen der mittleren Vereinigten Staaten sieht man überall Windmotoren stehen, die das Grundwasser aus Brunnen emporheben und den Berieselungskanälen zuführen. Am günstigsten ist es, wenn in solchem Gebiete in der Tiefe der Erde sich große Vorräte von Druckwasser vorfinden, die nur durch ein Bohrloch angezapft zu werden brauchen, um dann freiwillig bis hoch über die Oberfläche emporzusteigen. Zwischen dem Felsengebirge und dem Mississippi liegen Tausende von Quadratkilometern fruchtbaren, aber trockenen Landes, unter denen in der Tiefe zwischen undurchlässigen Schichten

der etwa 30 m und mehr mächtige, wasserreiche Dakotasandstein lagert; wenn er angebohrt wird, so steigt das Wasser unter starkem Drucke empor und erhebt sich als gigantischer Springbrunnen bis zu 30 m und mehr über die Oberfläche empor. Bisweilen beträgt der Druck an der Oberfläche noch 10 Atmosphären, reicht also aus, um das Wasser in geschlossenem Rohre noch 100 m hoch emporzuführen. Mit solchen Springquellen können gewaltige Landflächen bewässert werden. Um die Austrittsstelle des Druckwassers wird durch Dammziehung ein Becken von entsprechender Größe geschaffen, welches von der gewaltigen Fontäne schnell in einen See verwandelt wird. Von diesem aus werden die Wassermengen durch ein Netz von Kanälen und immer kleiner werdenden Gräben über Tausende von Äckern Landes verteilt und diese fruchtbar gemacht. So wird die sonst wertlose Prärie der Kultur gewonnen und in fruchtbare Weizenfelder umgewandelt.

f) Heilquellen und Bäder.

An zahlreichen Stellen entspringen dem Schoße der Erde Quellen, die entweder durch erhöhte Temperatur oder durch bestimmte chemische Eigenschaften oder durch eine Verbindung beider eine größere gesundheitliche oder wirtschaftliche Bedeutung gewonnen haben. Ihre bloße Anwesenheit hat zur Entstehung blühender Gemeinwesen geführt, und der Wohlstand vieler Ortschaften steht und fällt mit dem Vorhandensein und dem ungestörten Fortbestehen ihrer Quellen. Die heißen oder warmen Quellen verdanken ihre erhöhte Temperatur dem Umstande, daß sie auf ihrem unterirdischen Wege so tief unter der Oberfläche liegende Gebiete durchflossen haben, daß deren natürliche Wärme (geothermische Tiefenstufe) dazu ausreichte, dem Wasser eine höhere Eigenwärme zu geben die es wenigstens zum Teil bei seinem aufsteigenden Wege bis an die Oberfläche behalten konnte. Andere, besonders sehr heiße Quellen, sind sicher vulkanischen Ursprungs und bilden häufig Begleit- und Folgeerscheinungen vulkanischer Vorgänge. In diese Gruppe gehören beispielsweise die heißen Quellen, die in den vulkanischen, phlegräischen Feldern bei Neapel entspringen. In den meisten Fällen aber genügt es, wenn Wasser auf seinem unterirdischen Wege einige Kilometer tief unter die Oberfläche gelangt, denn da die Erdwärme im Mittel auf je 30 m Tiefe um 1° C steigt, so haben wir in 3 km Tiefe bereits den Siedepunkt des Wassers erreicht. Quellenbahnen, die bis zu dieser und noch größeren Tiefen hinabsteigen, haben aber durchaus nichts Unwahrscheinliches an sich. Eine Zeitlang hatte die von dem berühmten Wiener Geologen E. Sueß aufgestellte Theorie, daß das Wasser der meisten heißen Quellen aus den vulkanischen Tiefen der Erde stamme und zum ersten Male in den Kreislauf des Wassers einträte (juveniles Wasser), eine große Zahl von Anhängern, ist aber jetzt mehr und mehr zugunsten der Anschauung verlassen, daß das weitaus meiste Thermalwasser von der Oberfläche herrührt (vadoses Wasser) und nur durch seine sehr verschieden langen, sehr verschieden tief hinabreichenden und durch sehr verschiedene Gesteine hindurchführenden unterirdischen Wanderungswege thermisch und chemisch beeinflußt ist. Da heißes Wasser sehr viel kräftigere chemische Wirkungen ausübt als kaltes, so ist es nicht verwunderlich, wenn es auf seinem langen Wege in dem durchflossenen Gestein zahlreiche chemische Zersetzungen

veranlaßt und die dabei in Lösung gehenden Stoffe in sich aufnimmt. Als solche kommen in Frage: Chloride, Sulfate und Karbonate der Alkalien und alkalischen Erden; Eisenverbindungen, Arsen, Phosphorsäure, Kieselsäure, Bor, Schwefel als Schwefelwasserstoff oder Schwefelsäure. In Spuren finden sich in den heißen Quellen auch zahlreiche andere Elemente, und von dem mit der größten Genauigkeit untersuchten Karlsbader Sprudel ist es bekannt, daß in seinem Wasser mehr als 40 Elemente enthalten sind, darunter auch Gold und so seltene Elemente wie Rubidium und Cäsium. Durch diese Mannigfaltigkeit der Stoffe bilden sich zahlreiche Arten von Mineralquellen, die nach den in ihrer chemischen Struktur vorherrschenden Stoffen gruppiert werden. Wir unterscheiden ohne Rücksicht auf die Temperatur: Solquellen, in denen der Kochsalzgehalt vorherrscht, Bitterquellen, in denen Magnesiumsulfat (Bittersalz) überwiegt, alkalische Quellen, in denen Karbonate der Alkalien, Eisenquellen, in denen Eisenoxydulverbindungen, Arsenquellen, in denen Arsenverbindungen, Säuerlinge, in denen freie und halbgebundene Kohlensäure die wirksamen Bestandteile bilden. Dazu sind in neuerer Zeit als wichtiges neues Glied die Radiumquellen getreten, in welchen Radium oder seine verschiedenen Abspaltungsprodukte als Heilfaktoren auftreten. Die Verwertung der Mineralquellen ist sehr mannigfaltig; ihre Hauptbedeutung liegt in ihrer Heilwirkung, die durch Bäder und Trinkkuren herbeizuführen gesucht wird. Andere Quellen, insbesondere die Säuerlinge, dienen als wohlschmeckende und geschätzte Tafelwässer, wie Selters, Fachingen, Apollinaris, Gerolsteiner und Namedyer Sprudel. Sie werden unter Anwendung aller wünschenswerten Vorsichtsmaßnahmen auf Flaschen gefüllt und weithin versandt. Von anderen Quellen werden durch Eindampfung die in ihnen enthaltenen Salze gewonnen, die dann in verschiedenen Formen gleichfalls Verwendung finden, wobei allerdings nicht vergessen werden darf, daß die gegenseitigen Bindungen der einzelnen Stoffe in der natürlichen Quelle meist ganz anders sind als im Verdampfungsrückstande. Manche heiße Quellen enthalten sonst selten vorkommende, technisch nutzbare Stoffe, wie Borsäure. Solche Borquellen finden sich in Toskana, und aus ihnen werden durch Eindampfen große Mengen von Bor gewonnen, die in der chemischen Industrie mannigfache Verwendung finden.

Viele Gemeinwesen sind auf Gedeih und Verderb mit ihren Quellen verbunden und ein Versiegen derselben würde zu wirtschaftlichen Katastrophen schwerster Art führen. Darum wachen die Quellenstädte sorgsam über ihre Quellen und sind bemüht, alle störenden Einflüsse auszuschalten. Zu solchen gehören alle technischen Unternehmungen, die in der Umgebung der Quellen tiefer in die Erde hineingehen, wie Bohrlöcher, Tiefbrunnen und vor allem sämtliche Bergbaubetriebe. Die Wege, auf denen die Mineralquellen emporsteigen, entziehen sich in größeren Tiefen unserer Kontrolle; sie stehen aber in mannigfaltigem Zusammenhange mit gewöhnlichen, auf Spalten und Klüften zirkulierenden Grundwässern. Deshalb kann durch Bergbau, selbst in ziemlicher Entfernung, noch eine Einwirkung auf Quellen ausgeübt werden. Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts erfolgte auf dem Annaschacht bei Brüx in Böhmen ein Wassereinbruch in die dortige Braunkohlengrube und wenige Stunden später hörten die Quellen in Teplitz auf, oberirdisch abzufließen. In dem ersoffenen Schachte aber zeigte das Wasser eine Tempe-

raturzunahme, die deutlich erkennen ließ, daß der Weg in die Grube für die Teplitzer Therme bequemer war, als der bisherige in der Stadt Teplitz. Es bedurfte langwieriger Arbeiten, um die Einbruchsstelle zu verdämmen und nur langsam entschloß sich die Quelle, ihren alten Weg wieder aufzunehmen. Auch durch Erdbeben können Quellen zeitweilig oder dauernd zum Erliegen gebracht werden. Bei dem

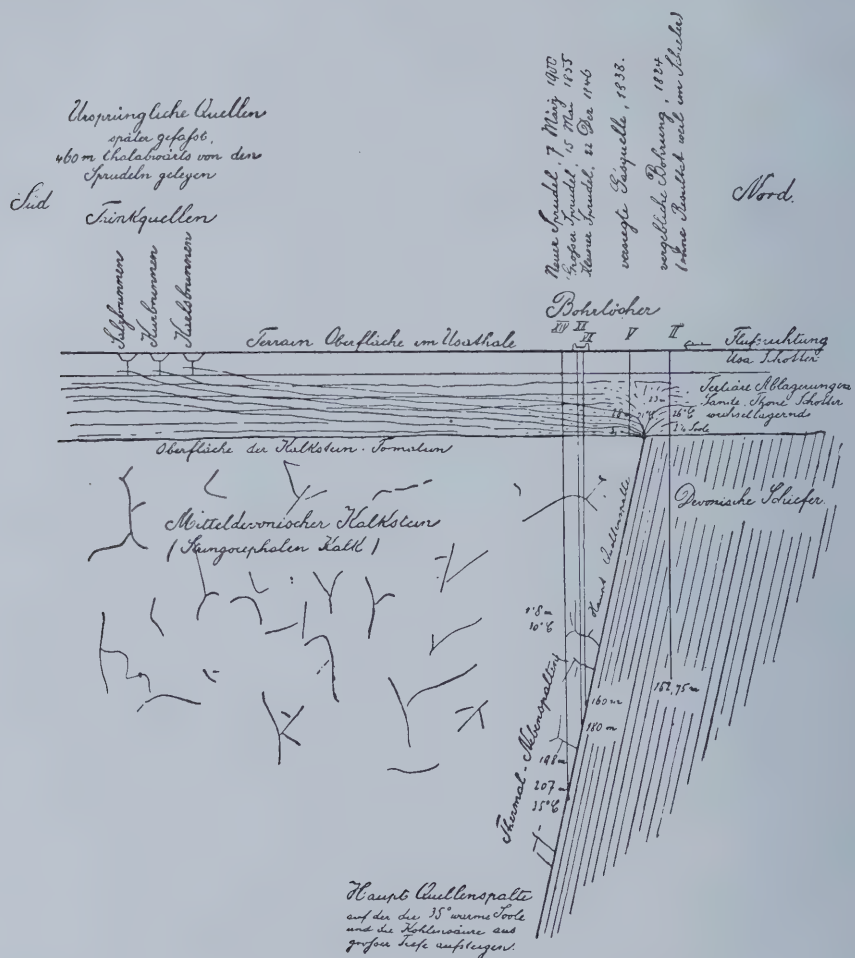


Abb. 189. Profil des Nauheimer Sprudels nach R. Lepsius.

großen Lissaboner Erdbeben 1755 setzte die Teplitzer Therme einige Minuten lang aus, floß aber dann mit unverminderter Kraft weiter. Gegen Erdbeben ist freilich kein Kraut gewachsen, aber gegen die schädlichen Einwirkungen des Bergbaus können die Quellen durch Einrichtung von Schutzbezirken gesichert werden. Diese werden auf Grund sorgsamer geologischer Untersuchungen so gelegt, daß sie tunlichst das gesamte mit dem unterirdischen Quellenlaufe in Verbindung stehende Gebiet umfassen. In diesen Quellenschutzgebieten ist der Bergbau und jede Art von Tiefbohrung verboten, jedes Eindringen in den Boden zu baulichen oder anderen Zwecken nur mit Genehmigung der Quellenbehörde gestattet. Alle unsere hygienisch

oder wirtschaftlich bedeutenden Quellen sind heute dieses Schutzes teilhaftig. Die Errichtung von Schutzbezirken ist aber nicht die einzige Anwendung der praktischen Geologie in der Balneologie, diese ist vielmehr oftmals auch berufen, bei der Erschließung neuer Quellen mitzuwirken. So ist der neue Solsprudel Nauheims auf Grund genauester geologischer Untersuchungen genau in der berechneten Tiefe von 207 m erbohrt worden; die neue Heidelberger Thermalquelle mit ihrer ganz einzig dastehenden chemischen Zusammensetzung ist auf Grund geologischer Prognose erbohrt worden, und in neuester Zeit ist die Erbohrung einer Thermalquelle im Nördlinger Ries von geologischer Seite lebhaft befürwortet worden. Auch die Erbohrung des neuen Pyrmonter Sprudels gehört hierher.

V. Geologie und Bauwesen.

a) Eisenbahnbau.

Beim Bau von Eisenbahnen, Kanälen und Kunststraßen, sowie beim Hoch- und Tiefbau spielt die angewandte Geologie eine bedeutsame Rolle. Schon bei der Auswahl der Linie einer Bahn ist nächst den Formen des Geländes sein geologischer Aufbau zu berücksichtigen: Gebiete mit wenig widerstandsfähigem Gestein wird man vermeiden und deshalb z. B. tiefe Torfmoore lieber umgehen als durch Dammschüttung queren. Ist aber letzteres wegen ihrer Größe oder aus anderen Gründen nötig, so müssen sie vorher genau abgebohrt werden. Dabei ist nicht nur die Mächtigkeit des eigentlichen Torflagers, sondern auch Beschaffenheit und Mächtigkeit seiner Unterlage festzustellen. Besteht letztere aus Sand und Kies oder anderen einwandfreien Bildungen, so muß man trotzdem mehrere Meter hineinbohren, um zu sehen, ob darunter nicht nochmals Torf folgt. Bei einem Bahnbau in Westpreußen wurde ein Torfmoor mittels Dammschüttung gequert, indem die Voruntersuchung unter dem Torf festen, tragfähigen Ton ergeben hatte. Als die Schüttung schon weit vorgeschritten war, verschwand eines Nachts der gesamte Damm mit allen darauf befindlichen Schienen, Schwellen und Loren. Eine nochmalige Untersuchung ergab, daß unter dem als Untergrund angenommenen Ton nochmals mächtiger, halbflüssiger Torf folgte. Unter der Last des Dammes war die Tonschicht durchgebrochen. Selbst kleine Moore können verhängnisvoll werden: Beim Bau der Berlin—Magdeburger Bahn sollte in der Gegend von Werder ein kleines Torfmoor gekreuzt werden und die Dammschüttung erfolgte ohne genauere Voruntersuchung. Das Schüttungsmaterial verschwand immer wieder, an den Seiten wuchs das Moor in die Höhe und schließlich mußte der Versuch aufgegeben und das kleine Moor umgangen werden. Bildet weicher Wiesenkalk oder Faulschlamm den Untergrund des Moores, so ist die Gefahr noch größer, denn diese Bildungen besitzen eine noch erheblich höhere Plastizität als der Torf selbst; und bei einiger Mächtigkeit derselben sollte lieber der Versuch einer Umgehung gemacht werden, andernfalls könnte leicht der Verbrauch Hunderttausender von Kubikmetern Boden und die Verwüstung eines breiten Wiesenstreifens die notwendige Folge sein. Beim Bau von Einschnitten, die bekanntlich bisweilen mehr als 20 m Tiefe besitzen können, ist sorgsamste Prüfung der Gesteinsbeschaffenheit und der Schichten-

lagerung vonnöten. Zu einer besonderen Gefahr beim Bau von Einschnitten können solche Gesteine werden, die hohe Plastizität besitzen oder bei nassem Wetter Neigung zum Quellen und Fließen zeigen. Dann kann der ganze Abhang sich in Bewegung setzen und den Bahnkörper überschütten. Werden die ersten abgerutschten Massen beseitigt, so setzen sich neue in Bewegung, der obere Böschungsrand verlegt sich nach rückwärts und solche Einschnitte bilden dann eine dauernde Quelle der Sorge für die Bauleitung. Das beim Bau von Einschnitten geförderte Material dient gewöhnlich zur Schüttung von Dämmen, besitzt es aber die Neigung zum Fließen und Quellen, so ist es dafür unbrauchbar, denn der Damm würde bei der nächsten längeren Regenperiode anfangen, auseinanderzulaufen und müßte durch standfesteres Material ersetzt werden. Auch die Schichtenlagerung kann zur Gefahrquelle

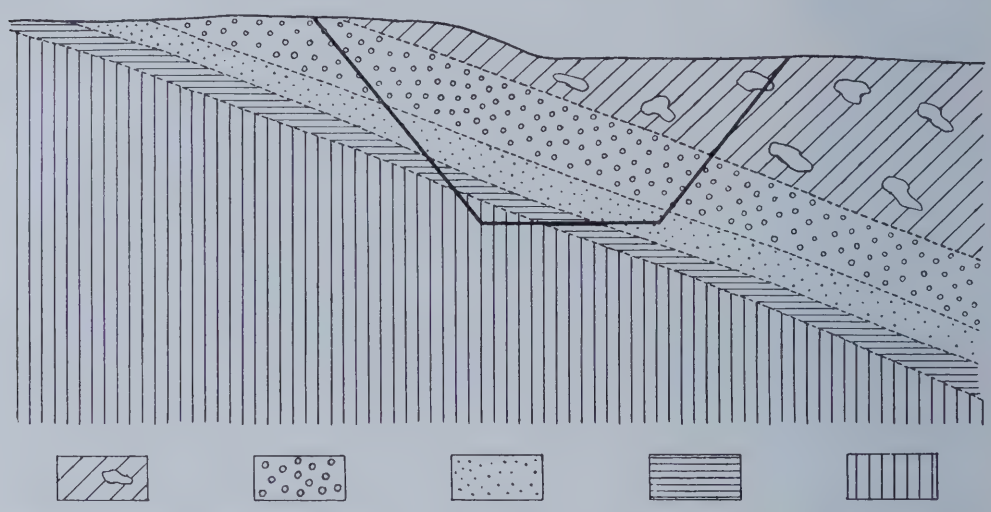


Abb. 190. Profil des Bahneinschnittes Rosengarten bei Frankfurt a. O.

werden: Liegen die Schichten horizontal oder stehen sie auf Kopf, so sind größere Gefahren nur dann zu befürchten, wenn im ersten Falle durchlässige und undurchlässige Schichten übereinanderlagern, die undurchlässigen unten liegen und die durchlässigen mit Grundwasser erfüllt sind. Durch den Einschnitt wird letzteres angezapft, fließt ab und von den Seiten dringt neues nach; es entsteht im Einschnitt ein Quellenhorizont und wenn die Schichten nur ein klein wenig geneigt sind, so entstehen Rutschungen. In ganz besonders hohem Maße sind solche Wechsellagerungen undurchlässiger und wasserführender durchlässiger Schichten dann gefährlich, wenn die Schichten stärker geneigt sind und der Einschnitt dem Schichtenstreichen folgt. Dann ist die eine Seite, auf der die Schichten vom Einschnitte wegfallen, völlig ungefährdet, die andere Seite dagegen um so mehr, und die Gefahren wachsen natürlich mit der Tiefe des Einschnittes. Ein solcher Fall lag bei Rosengarten in der Nähe von Frankfurt a. O. vor. Die Wasserscheide zwischen Oder und Elbe liegt bei Frankfurt nur 6 km westlich der Oder und die diese Wasserscheide überwindende Bahn nach Berlin besaß deshalb eine sehr starke Steigung. Um sie zu vermindern, sollte der die Wasserscheide durchschneidende Einschnitt stark vertieft

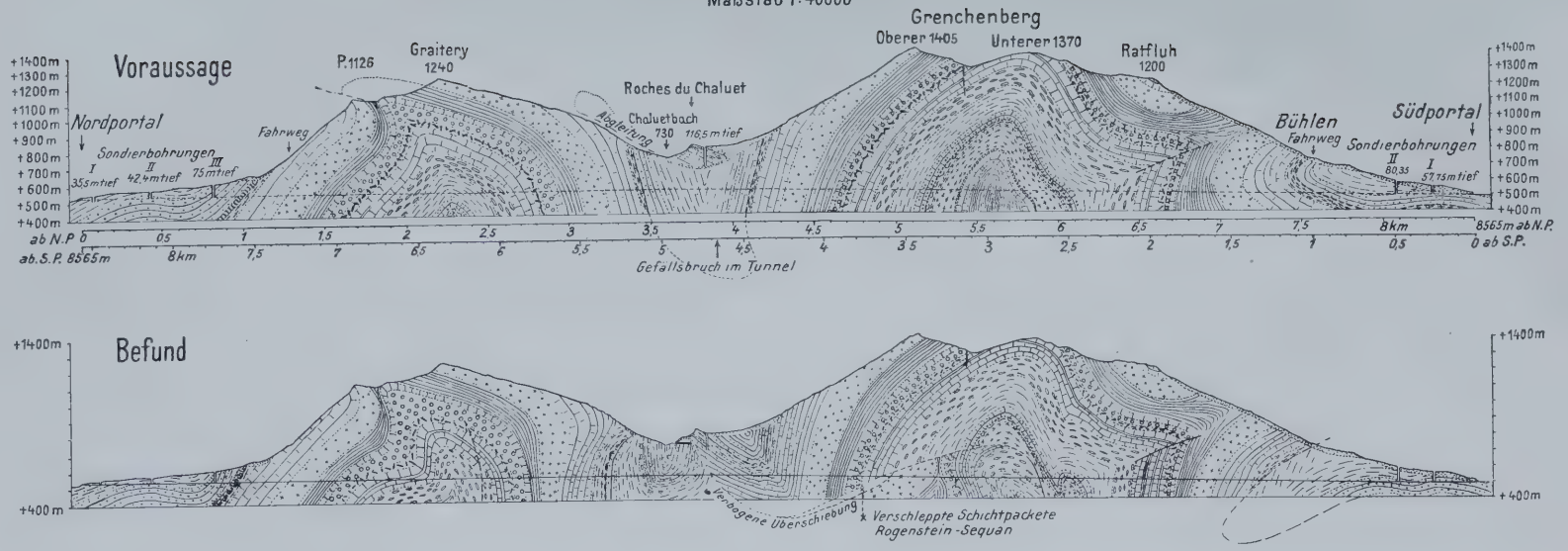
Abb. 191. Rutschung im Bahneinschnitt bei Rosengarten.

werden; dabei stieß man auf die im folgenden Profil schematisch dargestellten Lagerungsverhältnisse. Eine Schichtenfolge von Ton, Süßwasserkalk, fettem Geschiebemergel und mächtigen Sanden lag so, daß die Schichten unter 15—20° nach Norden einfielen, während der Einschnitt von Osten nach Westen, also direkt in ihrem Streichen verlief. Bei dieser Sachlage war der nördliche Hang des Einschnittes vollkommen sicher, im südlichen aber setzten sich zunächst die hängenden Sandmassen auf den Einschnitt zu in Bewegung. Zunächst diente ihnen ihre unmittelbare Unterlage, der wie eine Seife wirkende Süßwasserkalk, als Rutschfläche, da auf ihm die im Sande befindlichen Grundwasser sich stauten. Dann aber setzte sich der Kalk selbst auf der noch viel wirksameren Unterlage eines blauen, fetten Tones in Bewegung, der zu allem Unglück noch, nachdem er durch Abrutschen der überlagernden Massen an die Oberfläche gelangt war, sich in hohem Maße als quellfähig erwies und nun auch seinerseits trotz sehr stark vermindertem Böschungswinkel auf den Einschnitt zu sich in Bewegung setzte. An dem Einschnitte wird jetzt schon mehr als 12 Jahre gearbeitet. Viele Hunderttausende von Kubikmetern sind schon abgefördert worden, aber immer neue Massen rücken von Süden her nach, der Südrand des Einschnittes wird immer weiter zurückverlegt und ist jetzt schon mehr als 300 m von der Achse des Einschnittes entfernt. Diese Bewegungen können erst dann zum Stillstand kommen, wenn der Böschungswinkel bis auf wenige Grade durch Abtragung erniedrigt ist. Eine Vorstellung von den hier angerichteten Verwüstungen mag das folgende Bild geben, welches die Rutschung in den ersten Stadien zeigt. In einem Falle wie diesem wäre eine Verlegung des Einschnittes, die der Bauleitung schon in einem sehr frühen Stadium der Rutschungen dringend empfohlen war, natürlich viel billiger geworden als der Versuch, unter allen Umständen an der alten Stelle das Ziel zu erreichen.

Die größten Anforderungen an die angewandte Geologie stellt das schwierigste Werk des Bahnbaues, der Tunnelbau. Besonders die großen, bis 20 km langen Tunnel, durch die ganze Gebirge tief unter ihrem Gipfel durchbrochen werden, hängen in ihrem Erfolge in hohem Maße von der Lagerung und Beschaffenheit der durchfahrenen Gesteine ab. Vor Beginn der Arbeiten wird daher neben einer sorgfältig durchgeführten topographischen Aufnahme des Tunnelgebietes eine eingehende geologische Durchforschung vorgenommen. Es gilt, aus den an der Oberfläche ausstreichenden Schichten und aus der Beobachtung ihrer Lagerung und Aufeinanderfolge durch geschickte Kombination ein Bild von den im Tunnel selbst zu erwartenden Verhältnissen zu gewinnen. Ferner müssen die Voruntersuchungen sich auf die zu erwartenden Wasserverhältnisse erstrecken und die Möglichkeit prüfen, ob über dem Tunnel fließende Bäche eventuell auf Klüften mit dem Tunnel in Verbindung treten können. Bei ruhigen Lagerungsverhältnissen und wenn nur wenige und einfache Störungen des Gebirgsbaues auftreten, kann die Prognose für ein Tunnelprofil mit großer Sicherheit gestellt werden. Ist aber die Tektonik eines Gebietes sehr verwickelt, treten in ihm zahlreiche, in verschiedenen Richtungen verlaufende Störungen auf oder liegen große horizontale Überschiebungen vor oder hat man es gar mit dem verwickelt gefalteten Schubflächenbau der Alpen oder mit dem gekröseartig gewundenen Schichtensystem intensiv gefalteter Gebirge, wie im Schweizer Faltenjura, zu tun, so muß die Richtigkeit der Voraussage durch

Grenchenbergtunnel

Maßstab 1:40000



Erklärung

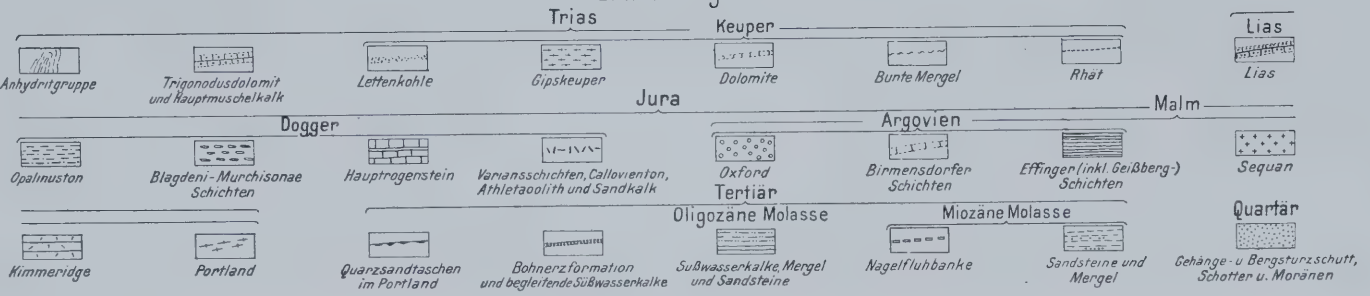


Abb. 192.

die gar nicht vorauszusehenden Verwicklungsmöglichkeiten des Schichtenbaues mehr oder weniger beeinträchtigt werden. Bei den letzten großen Tunnelbauten der Schweiz, dem Simplon- und dem Hauensteinbasistunnel, handelte es sich bei ersterem um eine Durchbrechung der Zentralalpen, bei letzterem um eine solche des Grenzgebietes zwischen Falten- und Tafeljura. In beiden Fällen war durch sorgsamste geologische Voruntersuchung das wahrscheinliche Tunnelprofil ermittelt worden. Die Nebeneinanderstellung von Prognose und Befund bei beiden Tunnelbauten zeigte, daß die Verhältnisse in der Natur noch sehr viel verwickelter waren, als die auch schon mit allerhand Komplikationen rechnenden Geologen es ahnen konnten. Insbesondere war bei dem Hauensteintunnel die ungeheuer komplizierte Einwicklung der Keuperschichten aus dem Oberflächenbefunde in keiner Weise vorauszuahnen. Das in den beiden folgenden Profilen wiedergegebene Bild des Grenchenbergtunnels mag dies veranschaulichen.

Die Erkennung von Verwerfungen im Tunnelgebiete und die vorherige Feststellung der Stellen, an denen sie das Tunnelprofil schneiden, ist von großer Bedeutung, weil an solchen Stellen sich gewöhnlich sehr unangenehme Begleiterscheinungen, wie starke Wasserführung, arge Zerrüttung der Gesteinsschichten und Brüchigkeit derselben einstellen. Tunnels, die durch womöglich von mehreren Verwerfungen durchsetzte Gebirge hindurchgehen, sind viel stärkeren Gefahren ausgesetzt, als solche im regelmäßig gelagerten, unverworfenen Gestein. In Erinnerung dürfte noch der Einsturz im Tunnel von Altenbeken sein, der das von zahlreichen Verwerfungen durchschnittene und zerstückelte Eggegebirge unterfährt. Sein Einsturz unterband wochenlang den Verkehr auf einer sehr wichtigen Haupteisenbahnlinie. Manche Tunnels haben auffallend wenig Wasser angetroffen, wie der Mont Cenis-Tunnel, der so trockenes Gebirge durchfuhr, daß das Speisewasser der Maschinen von außen in den Tunnel gebracht werden mußte. Auch im Gotthardtunnel hielten sich die zusetzenden Wasser in mäßigen Grenzen, während sie im Simplontunnel sehr ernste Schwierigkeiten bereiteten. Hier wurden nicht nur enorme Mengen kalten, von oben kommenden Wassers angefahren, deren Herkunft aus einem bestimmten Bache durch Färbung mit Sicherheit nachgewiesen und durch Abdichtung des Bachbettes beseitigt werden konnte, sondern auch heiße, bis 70° warme Wasser, die aus der Tiefe emporstiegen und deren Abführung und Unschädlichmachung große Mühe verursachte.

b) Beschaffung von Rohstoffen.

Die im Bauwesen verwendeten Stoffe, natürliche Gesteine, Kunststeine, Mörtel und Zement, werden alle dem Schoße der Erde entnommen und durch mehr oder weniger umständliche Prozesse verwendungsfähig gemacht. Bei den natürlichen Gesteinen erfolgt die Gewinnung im Steinbruchbetriebe. Bevor ein Steinbruch eröffnet wird, bedarf es sorgfältiger Untersuchung der Lagerung und Beschaffenheit der Gesteine und am besten einer genauen Profilaufnahme der ganzen Gesteinsfolge. Die Beschaffenheit des Gesteins ist von Bedeutung für seine Verwendung, die Lagerungsform für die Anlage des Bruches. Alle Steinbruchsarbeit beruht auf einer natürlichen Zerlegung der Gesteine durch Klüfte und Spalten oder durch

Schichtfugen in einzelne Blöcke oder Lagen. Ein Berg des herrlichsten Granits oder Marmors wäre wertlos, wenn das Gestein eine vollkommen einheitliche, geschlossene Masse bilden würde, weil es dann nahezu unmöglich sein würde, Teilstücke davon zu gewinnen. Erst durch die Zerklüftung wird ein Gestein gewinnbar und brauchbar. Bei den massig erstarrten Gesteinen, zu denen Granit, Porphyr und Syenit gehören, beobachtet man eine Zerklüftung, die außerordentlich regelmäßig nach verschiedenen, zueinander mehr oder weniger senkrecht stehenden Richtungen verläuft. Sie ist im Gestein teils schon bei seiner Entstehung angelegt, teils durch spätere tektonische Beeinflussung bei der Faltung und Bewegung großer Brocken der Erdrinde entstanden. In den der Erdrinde nähergelegenen Teilen werden solche in der Tiefe nur latent vorhandenen Klüfte durch Abnahme des Druckes und durch Verwitterung sichtbar und offen und gestatten im Steinbruchsbetriebe die Gewinnung von Blöcken und Platten verschiedener, von den gegenseitigen Abständen der einzelnen Klüfte und Kluftsysteme abhängiger Größe. Bei den Ergußgesteinen, die alle in der Art der Lavaströme auf Gängen emporbrechend die Erdoberfläche erreicht haben, ist die häufigste Ursache der Zerklüftung die Zusammenziehung beim Erkalten; sie bedingt die Entstehung von bald schlanken, bald plumpen und gedrungenen Säulen, wie wir sie besonders schön bei Basalten und in manchen Porphyren beobachten können.

In den Schichtungsgesteinen kann die Zerlegung des Gesteins durch Fugen ebenfalls verschieden sein: In den alten Tonschiefergesteinen beobachten wir häufig eine Absonderung der Gesteine in dünne, ebenflächige Platten, die wir als „Schiefer" bezeichnen und die das Gestein zur Gewinnung von Dachdeckungsmaterial vorzüglich geeignet machen. Diese Schieferung folgt nicht der eigentlichen Schichtebene, sondern schneidet sie unter allen möglichen Winkeln und kann sie vollkommen undeutlich machen. Solche geschieferten Gesteine finden wir nur in Gesteinsfolgen, die sehr bewegte tektonische Schicksale durchgemacht haben und bei der Faltung sehr starkem Druck ausgesetzt waren, weshalb sie auch auf unsere alten paläozoischen Faltengebirge, das Sächsische Vogtland, den Thüringer Wald und das Rheinische Schiefergebirge beschränkt sind (vgl. die Abbildung eines Schieferbruches in Band I, S. 176). Diese meist dunkelfarbigen Schiefer gehören ihrem Alter nach in Deutschland dem Kambrium, Silur, Devon und Kulm an. Nur in dem jungen Faltengebirge der Alpen finden wir auch im Tertiär (Glarner Schiefer) eine sehr ausgesprochene Schieferung infolge des bei der Alpenfaltung ausgeübten Druckes.

In allen anderen Sedimenten beruht die Absonderung auf der natürlichen Schichtung der Gesteine und die Mächtigkeit der gewinnbaren Bänke hängt durchaus von ihr ab. Die größte Mächtigkeit geschichteter Bänke beobachtet man beim Sandstein, der stellenweise, wie der Kreidesandstein der Sächsischen Schweiz, solche von mehreren Metern Mächtigkeit besitzt (Abb. 193). Auch der Kalkstein kann, wenngleich viel seltener, geschlossene Bänke von erheblicher Mächtigkeit bilden; meist aber bestehen die Schichten bei ihm aus dünnen Bänken von wenigen Zentimetern bis zu $^1/_2$ oder $^3/_4$ m Mächtigkeit. Solche sind dann als natürliche Bruchbausteine gut zu verwenden. Nur im Kontakt mit Eruptivgesteinen oder unter dem Druck gewaltiger tektonischer Beanspruchung kann der Kalkstein in sehr großblöckigen Massen unter gleichzeitiger Umkristallisation und Verwandlung in

Marmor umgebildet werden und dann zu monumentalen Bauwerken Blöcke in jeder gewünschten Größe liefern (vgl. die Abbildung eines Marmorbruches in Carrara in Band I, S. 95). Dünne Kalksteinbänke von guter Beschaffenheit lassen

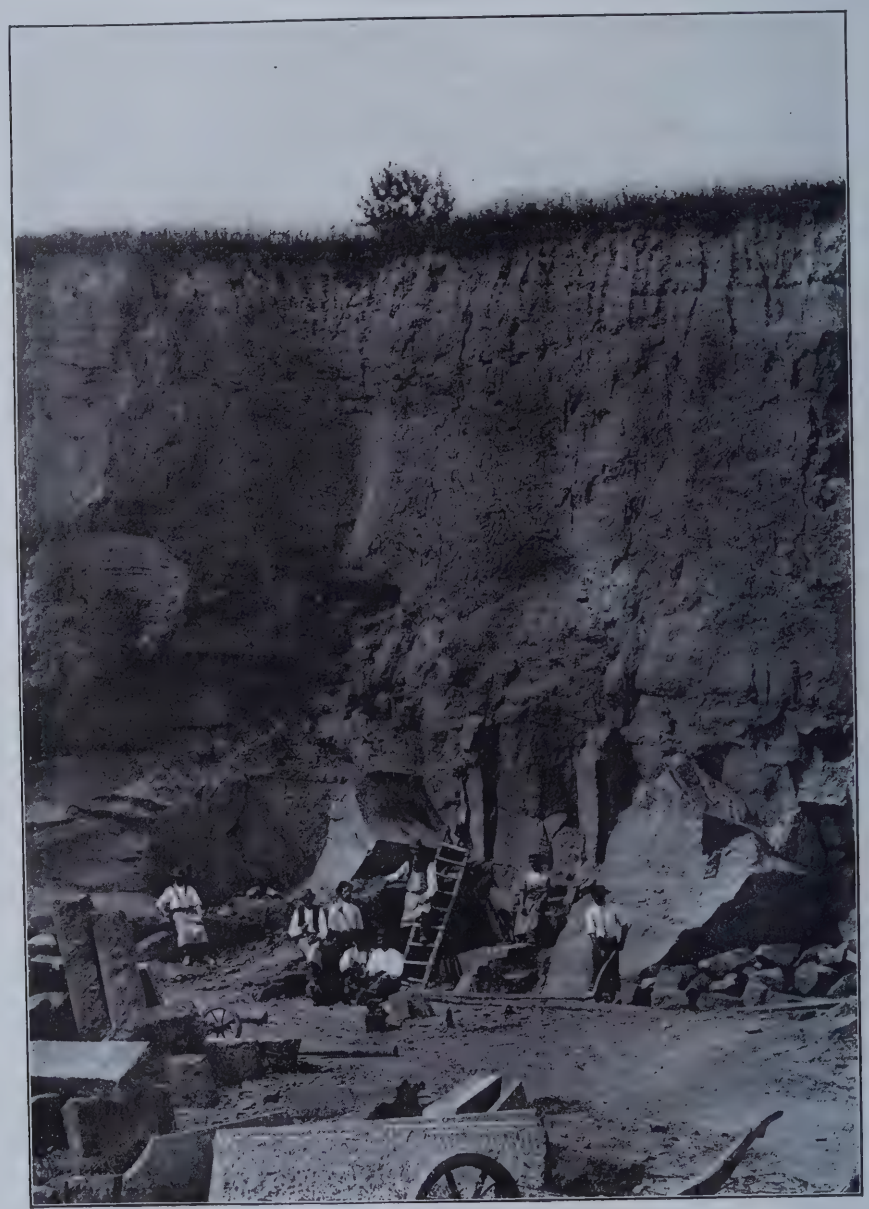


Abb. 193.

sich mit bestem Erfolg zu Bordschwellen und kleinen Pflastersteinen verarbeiten, wie z. B. die im unteren Buntsandstein eingelagerten Rogensteinbänke, die aus lauter kleinen, bis höchstens erbsengroßen, konzentrisch-schaligen Kalkkügelchen, wohl organischer Entstehung, zusammengesetzt sind. Er hat große Verbreitung im

Gebiet der Saale bei Bernburg, wo kilometerlange, schmale Steinbrüche den horizontal gelagerten Bänken folgen.

Nächst der Absonderung spielt natürlich auch die Zusammensetzung der Gesteine für ihre Verwendbarkeit eine wichtige Rolle. Durch Verwitterung in ihrem Gefüge gelockerte Gesteine, oder solche, in denen die Feldspate durch Verwitterung erweicht sind, scheiden für die technische Verwertung als Baumaterial aus. Angreifbarkeit des Bindemittels in einem Gestein durch die Kohlensäure der Luft oder durch die schwefeligen sauren Gase der Luft unserer Industriegebiete macht oft sonst brauchbare Sandsteine mit kalkigem Bindemittel für Bauwerke in solcher Umgebung ungeeignet. Knollen von Schwefeleisen im Kalkstein können durch Zersetzung an der Luft den schönsten Baustein mit scheußlichen, gelbbraunen Flecken und Streifen verunzieren, wofür die Burg Hohenzollern ein warnendes Beispiel liefert. Die alte Stadt Lüneburg ist vielfach mit an Ort und Stelle gewonnenem Anhydrit gebaut, der sich mit der Zeit in Gips umwandelte und infolge der damit verbundenen beträchtlichen Volumenverminderung eine linsenförmige Ausbeulung der Außenmauern der daraus errichteten Gebäude herbeigeführt hat. — Schon diese wenigen Beispiele zeigen, wieviel zu bedenken ist, ehe man einen Steinbruch eröffnet und wieviele Gesichtspunkte bei der Voruntersuchung zu berücksichtigen sind.

Dazu kommt weiter die Notwendigkeit, auf das sorgfältigste die Lagerungsverhältnisse das abzubauenden Gesteins zu prüfen. Das beste Gestein kann dadurch wertlos werden, daß seine Schichtfugen oder Absonderungsklüfte von der Oberfläche weg in das Innere des Berges einfallen, weil es dann nahezu unmöglich ist, größere Platten und Werkstücke zu gewinnen. Es ist vielmehr nötig, daß die Schichten entweder horizontal liegen oder daß sie vom Berg wegfallen. Das gleiche gilt natürlich auch für die säulige Absonderung der Basalte, die dann wertlos wird, wenn die Basaltsäulen in den Berg einfallen.

Viele der angeführten Untersuchungen lassen sich in der Natur ohne weiteres ausführen, aber in vielen anderen Fällen macht sich die Zuhilfenahme der Dünnschliffuntersuchung im Mikroskop oder eine chemische Untersuchung der Eigenschaften des natürlichen Gesteins nötig. Letzteres gilt ganz besonders von den Rohstoffen für künstliche Baumaterialien, wie Mauersteine, Dachziegel, Bodenbelagfliesen und ähnliches. Sie werden hergestellt aus nicht erhärteten, tonigen Gesteinen durch Formung des feuchten, noch plastischen Materials und nachheriger Trocknung und Erhitzung desselben im Ziegelofen. Auch hier ist eine sorgfältige Voruntersuchung der natürlichen Lagerungsverhältnisse erwünscht, um spätere Enttäuschungen zu vermeiden. Gewöhnlich werden die Ausdehnung der Tonlager und die Unterlagen für die Mengenberechnung durch eine Anzahl von Bohrlöchern ermittelt, bei denen zugleich das Material für eine genauere Untersuchung der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Rohstoffes gewonnen wird. Es wird das Schwinden des Tons beim Trocknen und Brennen und der Grad der Feuerbeständigkeit bestimmt. Letzteres geschieht nach sogenannten Segerkegeln, kleinen Tonkegeln aus einer Reihe verschieden schmelzbarer Tone, von leicht schmelzbaren bis zu solchen, die die höchsten Temperaturen aushalten. Der Ton wird im Versuchsofen gebrannt bis der Probestein schmilzt und an den dem gleichen Wärmegrade ausgesetzt gewesenen verschiedenen Segerkegeln, von denen die leichter schmelzbaren niederschmelzen,

während diejenigen, die schwerer schmelzen als der Probestein, unverändert bleiben, kann man den Schmelzpunkt des zu prüfenden Materials bestimmen und damit vielfach die natürlichen Grenzen seiner Verwendbarkeit. Dann hat die Untersuchung des Rohmaterials auch die chemische Seite zu berücksichtigen, den Gehalt an Sand, Tonerde, Alkalien, alkalischen Erden zu ermitteln. Mit der Tonerde wächst die Feuerbeständigkeit, mit den Alkalien nimmt sie ab. Kohlensaurer Kalk in größeren Stücken macht das Material untauglich, da der gebrannte Stein durch die an der Luft sich löschenden und dabei ihr Volumen vermehrenden Kalkstücke gesprengt wird. Auch fein verteilter Kalk wird schädlich für Dachziegel und Mauersteine zu Hauswänden, da er die Verwitterungsfähigkeit begünstigt. Gips ist ebenso gefährlich wie stückiger Kalk; ebenso ist Schwefeleisen ein sehr unangenehmer Bestandteil des Ziegeltones. Durch vorherige Schlämmung lassen sich manche dieser schädlichen Bestandteile beseitigen. Andere künstliche Bausteine werden aus Sand und Kalk nur durch Druck, ohne Erhitzung hergestellt. Auch hier muß der wichtigste Rohstoff, der Sand, bestimmte Eigenschaften der Korngröße und mineralogischen Zusammensetzung besitzen, um einen brauchbaren Kalksandstein zu liefern. Schließlich gehören zu den künstlichen Baustoffen noch der Mörtel und der Zement. Ersterer wird aus abgelöschtem, gebrannten Kalkstein, sogenannter Kalkmilch, und aus möglichst reinem, scharfkantigen Sand hergestellt. Je reiner der Kalk ist, je weniger Dolomit, kohlensaure Magnesia, darin enthalten ist, desto besser wird der Mörtel, weshalb das Rohmaterial am besten schon im Bruch auf seinen Gehalt an den Karbonaten des Kalkes und der Magnesia zu prüfen ist.

Der Zement, der auch zu den künstlichen Bausteinen zu zählen ist, entsteht durch Brennen und Mahlen eines genau prozentual gemischten Gemenges von Ton und Kalk. Hierbei darf der Ton beliebige Mengen von Kalk und der Kalk beliebige Mengen von Ton enthalten, denn die Analyse beider ermöglicht eine solche Mischung, daß das in gebranntem Zement erforderliche Mengenverhältnis von Kalkerde zu Tonerde sich notwendig ergeben muß.

VI. Die Geologie im Kriege.

Im Weltkriege hat die Geologie zum ersten Male eine bedeutungsvolle Rolle gespielt; solange die Kriegshandlungen sich im Bewegungskriege abspielten, boten sie der Geologie kein Feld der Betätigung. Erst der Stellungskrieg, wie er sich zuerst im russisch-japanischen, vor allem aber im Weltkriege entwickelte, bot dazu reiche Gelegenheit und führte in seiner zweiten Hälfte zur Schaffung von Geologenstäben, die teils an der Front, teils hinter derselben ihre Tätigkeit entfalteten. Ihre Arbeiten waren teils wirtschaftlicher, teils militärischer Natur und die ersteren schlossen sich natürlich eng an die praktisch-geologische Friedenstätigkeit an. Sie bestanden im wesentlichen in der Versorgung der Truppe mit einwandfreiem Trinkwasser und in der Aufsuchung nutzbarer Rohstoffe für Wegebau und Befestigungsarbeiten. In entsprechender Weise waren in der Heimat die Geologen emsig bemüht, den durch die Abschnürung vom Weltmarkt entstandenen Mangel an Rohstoffen (Metalle, Phosphorsäure, Salpeter, Schwefel u. a.) durch Aufsuchung und Erschließung neuer Lagerstätten oder durch Beschaffung von Ersatzstoffen zu mildern.

Die Waschpader in Paderborn.

Pader bei den Dielen.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

Ganz anderer Art und viel umfangreicher waren die Aufgaben, die der Geologie aus dem Wesen des Stellungskrieges erwuchsen: Fragen, die das Wasser im Boden, die Standfestigkeit, Bearbeitbarkeit und Minierfähigkeit der Gesteine betrafen, standen hier in erster Reihe. Bei der Wahl der Stellungen war vielfach nur auf die Forderungen der Taktik Rücksicht genommen, die geologische Beschaffenheit des Geländes aber unberücksichtigt geblieben. Daraus ergaben sich allerlei für die Truppe sehr schwierige Mißstände: Die Stellungen litten unter heftigem Grundwasserzufluß oder ihre Böschungen standen nicht und verwandelten sich bei Regenwetter in einen zähen Brei, wie besonders im flandrischen Lößlehm. In anderen Fällen begann das Grundwasser so nahe unter der Oberfläche, daß es keine Möglichkeit gab, die Stellungen in die Erde hineinzubauen, sondern daß sie mit Hilfe von Sandsäcken aufgebaut werden mußten. In diesen und in vielen anderen Fällen machte sich die Unkenntnis der geologischen Verhältnisse und die Unbekanntschaft der Truppenführer mit den Gesetzen der Grundwasserbewegung im Boden so unangenehm fühlbar, daß die genaue Prüfung beider durch Fachleute zur Notwendigkeit wurde. Durch deren Tätigkeit ergab sich alsbald eine Reihe von Gesichtspunkten, nach denen die geologische Untersuchung der Front, ihres Vor- und Hinterlandes und die Anfertigung entsprechender kartographischer Darstellungen erfolgte. Auf diese Weise entstanden: 1. rein geologisch-tektonische Karten, 2. Grundwasserkarten, 3. Karten der Bearbeitbarkeit der Gesteine, 4. Karten der Standfestigkeit der Gesteine, 5. Karten der Minierbarkeit der Gesteine, 6. Karten der Verbreitung nutzbarer Gesteine.

1. Geologisch-tektonische Karten. Ihre Hauptaufgabe war es, die Kenntnis der Lagerung der Gesteine möglichst zu vervollkommnen, bei Schichtgesteinen das Streichen und die Richtung im Winkel des Einfallens festzustellen, das Auftreten von Schichtenstörungen, Faltungen, Überschiebungen, Zerrüttungszonen und die Gesetze der Kluftbildung im Gestein, ihre Anordnung und Richtung zu studieren. Alle diese Dinge waren von größter Wichtigkeit für eine Reihe von militärischen Fragen, vor allem für die Miniertätigkeit und die Anlage tieferer, bombensicherer Unterstände. Es war keineswegs gleichgültig, ob die Schichten in der Richtung nach der feindlichen Stellung hin einfielen oder umgekehrt. Im ersten Falle konnte man in einer für Minierung günstigen Schicht unter die feindliche Stellung gelangen und diese auffliegen lassen, im umgekehrten Falle lag dieser Vorteil bei dem Gegner. Die Kenntnis der Verwerfungen war für die Miniertätigkeit deshalb von Bedeutung, weil auf ihnen oft bedeutende Wassermengen aufsitzen, die beim Anfahren die gesamten, bereits fertigen Anlagen zum Ersaufen bringen konnten.

2. Grundwasserkarten. Sie geben an, in welcher Tiefe unter der Erdoberfläche der Spiegel des Grundwassers liegt. Für ihre Anfertigung ist es nötig, an möglichst zahlreichen Stellen, vor allem in sämtlichen Brunnen, den Grundwasserstand zu bestimmen und seine Lage auf einen gemeinsamen Nullpunkt zu beziehen. Dann werden alle Punkte gleicher Höhe des Wasserspiegels durch Linien in Abständen von 1 : 1 oder von 5 : 5 m in derselben Weise wie bei den Höhenlinien der topographischen Karte verbunden. Aus solchen Schichtlinien der Grundwasseroberfläche läßt sich seine Tiefenlage berechnen, indem man die Grundwasserordinate von der Oberflächenordinate abzieht. Diese Karten haben einen doppelten Zweck:

Einmal sollen sie erkennen lassen, wie tief man bohren muß, um rasch Wasser zu gewinnen, und sodann sollen sie zeigen, in welcher Tiefe das Wasser dem Menschen ein tieferes Eindringen in den Boden bei Minierarbeiten oder Anlage von Stellungen und Unterständen verbietet. Vollständige Grundwasserkarten lassen ferner erkennen, wo durchlässige und wo undurchlässige Gesteine an der Oberfläche auftreten, wo einzeln oder in Gruppen oder Linien Quellen sich finden (Quellenhorizonte), wo mehrere wasserführende Horizonte (Grundwasserstockwerke) übereinanderliegen, wo artesisches Wasser auftritt und in welcher Tiefe (wichtig für Feldstellungen) und wo schließlich gesundheitlich verdächtiges oder ungenießbares, z. B. salziges, Wasser vorkommt.

3. Karte der Bearbeitbarkeit der Gesteine. Sie gibt an, ob die an der Erdoberfläche auftretenden Gesteine den menschlichen Werkzeugen größeren oder geringeren Widerstand entgegensetzen und unterscheidet dementsprechend die Gesteine in solche, die sich graben lassen (Sand, Löß, sandiger Lehm und Ton, Schliffsand, lockerer Kies), solche, die mit der Picke bearbeitet werden müssen (zäher Ton, mürbe Kalksteine, Sandsteine, Schiefer, Mergel, viele Gesteine in ihren oberen Verwitterungsschichten), solche, die nur durch Brecheisen gelockert werden können (viele klüftige Kalksteine, Sandsteine und manche Eruptivgesteine), und schließlich solche, die nur durch Verbindung einer der genannten Methoden mit Sprengarbeiten gelockert werden können. Solche Karten dienen zur Beurteilung der erzielten Leistungen beim Erdbau, zum Veranschlagen der für die Ausführung einer Erdarbeit erforderlichen Zeit und zur Wahl zweckmäßiger Ansatzpunkte für alle geplanten Arbeiten unter der Erdoberfläche.

4. Standfestigkeitskarte. Sie läßt erkennen, ob senkrechte Böschungen in einem bestimmten Gestein von selbst stehen, z. B. in festem Felsen oder im Löß und fettem Ton, oder ob sie der Zimmerung bedürfen, wie in den meisten sandig-tonigen Bildungen, oder ob sie ausgemauert werden müssen, wie im trockenen Dünensande. Die Standfestigkeit vieler Gesteine ist von ihrem Wassergehalt abhängig: Feuchte Sande stehen besser als trockne, während umgekehrt viele sandige Lehme und Tone im trocknen Zustande gut stehen, durchfeuchtet aber auseinanderfließen. Diese Karten sind von größter Bedeutung für die Anlage von Schützengräben und Unterständen, die, soweit nicht taktische Gründe Abweichungen erheischen, sich der Eignung des Gesteins anzupassen haben.

5. Minierbarkeitskarte. Sie ist eine Kombination der Darstellungen der Grundwasser- und der Bearbeitbarkeitskarte und soll die für Minierarbeiten günstigen und ungünstigen Gebiete scharf gegeneinander abheben und bei ersteren erkennen lassen, bis zu welcher Tiefe die Lagerung der Schichten ein Eindringen in den Boden gestattet.

6. Die Karte der Verbreitung nutzbarer Gesteine endlich soll dem Truppenführer zeigen, wo er für irgendwelche Zwecke erforderliches Baumaterial, wie Ton, Lehm, Kies, Flußschotter, Wegebau- und Eisenbahnschotter, in möglichst geringer Entfernung und in möglichst guter Beschaffenheit finden kann.

VII. Nutzbare Ablagerungen und ihre Gewinnung.

a) Erze und Metalle. Allgemeines.

Gediegene Metalle und deren Erze, Brennstoffe, Salze und eine Reihe nichtmetallischer Mineralien und Gesteine sind die Gegenstände, denen der Mensch in die Tiefen der Erde nachgeht. Die heißbegehrten Schwermetalle, die an der Erdoberfläche so selten sind, liegen im Innern der Erde in ungeheuren Mengen, aber gewöhnlich in einer unseren Künsten unzugänglichen Tiefe. Bei der Bildung der Erde haben sich, entsprechend ihrem spezifischem Gewichte, die schwersten Metalle am weitesten nach dem Erdinnern zurückgezogen und sind von dort nur in verhältnismäßig geringen Mengen wieder nach oben in die Greifweite des Menschen gerückt worden. Das hohe spezifische Gewicht der Gesamterde verglichen mit dem nur $^1/_3$ so hohen Gewichte ihrer äußeren Kruste, zwingt zur Annahme eines schwermetallischen Erdkerns, in welchem die Metalle sich vorwiegend in gediegenem Zustande befinden müssen. Von hier aus können sie in verhältnismäßig kleinen Mengen wieder aufsteigen, entweder eingeschlossen in Ergüssen plutonischer Tiefengesteine oder in Lösung gebunden an heiße, aus der Tiefe emporsteigende Quellen, oder endlich als dampfförmige Massen, ebenfalls im Gefolge aufsteigender Laven oder auch selbständig auf tief in das Erdinnere hinabreichenden Spalten. Die mit vulkanischem oder plutonischem Gestein emporgestiegenen Metalle oder ihre Erze haben sich bei der langsamen Abkühlung des Glutbreies an gewissen Stellen, oftmals an der Außenseite, aber oft auch auf bestimmten Zonen im Innern soweit angereichert, daß sie mit Nutzen ausgebeutet werden können. Sie werden als „magmatische Ausscheidungen" bezeichnet und es ist sehr eigentümlich, wie eng die verschiedenen Metalle und ihre Erze an Eruptivgesteine ganz bestimmter Prägung geknüpft sind. Im Gefolge außerordentlich basischer, magnesia- und olivinreicher Gesteine, der sogenannten Peridotite, finden sich die Metalle der Platingruppe zusammen mit Chromerzen. Im Gefolge gewisser Quarzporphyre und Melaphyre begegnet uns das Kupfer, an saure Eruptivgesteine, wie Granite, Trachyte, Rhyolite und Dazite ist im allgemeinen das Gold gebunden, ebenso fast ausschließlich an Granite das Zinn. Letzteres ist in der Hauptsache in Form mineralischer Dämpfe zusammen mit einer Reihe fluorhaltiger Mineralien, Topas, Turmalin, Flußspat, Lithionglimmer — als Nachwirkung und Schlußphase granitischer Intrusivvorgänge — emporgestiegen und hat das durchwanderte Nebengestein durchtränkt, mineralisiert und in „Greisen" umgewandelt. Man nennt solche Vorkommen „Imprägnationslagerstätten". Noch andere Erze sind in wässeriger Lösung auf Spalten aus der Tiefe emporgestiegen. Die in großer Tiefe natürlich ungeheuer überhitzten Wässer führten neben den Metall- und Erzlösungen noch eine Menge anderer Stoffe in Lösung nach oben — Kalk und Dolomit, Quarz und Schwerspat — und setzten alle diese Stoffe auf den durchwanderten Spalten und Klüften wieder ab, je nachdem ihre Lösungsfähigkeit durch Abkühlung eine Verminderung erfuhr. Diese Mineral- und Erzausscheidung an den Wandungen der durchwanderten Spalten und Klüfte setzte sich im allgemeinen bis zur völligen Schließung der Kanäle fort. Auf diese Weise entstanden die Erz- und Mineralgänge, die wie ein Netz von Adern in

zahlreichen Gebieten die alten kristallinen oder metamorphen Gesteine durchziehen. Silber, Blei, Zink, Kupfer und Eisen sind die in der Hauptsache an Schwefel, Arsen und Antimon gebundenen Metalle solcher Gänge.

Wenn mit Metallsalzlösungen beladene heiße Gewässer mit Kalk- oder Dolomitlagern beim Aufsteigen in Berührung kamen, so trat eine chemische Wechselwirkung ein: Der Kalk des Nebengesteins wurde von der metallhaltigen Lösung aufgenommen und für jedes Molekül gelösten Kalkes oder Dolomites ein Molekül Erz niedergeschlagen, ein Vorgang, der sich nach den Seiten sehr weit hin zu erstrecken und mächtige Erzlager zu erzeugen vermochte, die als „metasomatische" oder „Verdrängungslagerstätten" bezeichnet werden. Es sind besonders Lager von oxydischen oder karbonatischen Eisen- und Manganverbindungen, die solcherart entstanden sind.

Noch andere Erzlagerstätten haben sich direkt als Niederschlag aus dem Meere oder aus Süßwasser gebildet, indem die darin gelösten Metallsalze durch reduzierende Stoffe, meist unter Mitwirkung kleinster Lebewesen, aus ihren Lösungen ausgefällt und auf dem Grunde des Wassers niedergeschlagen wurden. Die so gebildeten Erzanhäufungen werden als Erzlager bezeichnet und unterscheiden sich von den Gängen, Imprägnationen und magmatischen Ausscheidungen dadurch, daß sie sich dem Schichtenverbande als ein völlig konkordantes Glied einschalten. Auch bei diesen Bildungen handelt es sich vorwiegend um Eisen- und Manganlagerstätten.

Die Oberfläche der Erde ist dauernd der Abtragung durch Wind, Wasser und andere Kräfte unterworfen. Damit unterliegen auch die Erzlagerstätten in ihren der Oberfläche nahen Teilen einer Zerstörung: Leicht angreifbare Metallverbindungen werden oxydiert, gelöst, in Lösung fortgeführt oder treten eine Wanderung nach unten an. Dadurch entsteht der sogenannte „Eiserne Hut" der Erzgänge, in welchem die meisten Metalle fortgeführt und die Eisenverbindungen oxydiert sind. Ein Teil der abgewanderten Erze ist in größerer Tiefe im Niveau des Grundwassers wieder abgeschieden, so daß dort in der sogenannten „Zementationszone" oftmals große Erzreichtümer angehäuft sind. Widerstandsfähige, d. h. unlösliche oder schwer oder gar nicht zersetzbare Metalle und Erze dagegen werden bei der Abtragung vom Wasser fortgeführt und in den Tälern der Flüsse zusammen mit den von ihnen transportierten Sand- oder Geröllmassen wieder abgelagert, wobei die spezifisch schweren Erze, Metalle und Mineralien immer mehr nach unten wandern und im unteren Teile der Ablagerung sich konzentrieren. Derartige durch Umlagerung im Wasser entstandene nutzbare Lagerstätten werden als Trümmerlagerstätten oder Seifen bezeichnet. Gold, die Metalle der Platingruppe, Zinnstein und von nichtmetallischen Stoffen der Diamant und eine Reihe anderer Edelsteine bilden den wichtigsten Bestandteil nutzbarer Seifen.

Die Art der Gewinnung der Erze ist vollkommen von der Art ihres Vorkommens abhängig. Liegen sie in so geringer Tiefe, daß es möglich ist die sie bedeckenden Schichten vollständig zu entfernen, so können sie in offenen Gruben, die man als „Tagebaue" bezeichnet, gewonnen werden. Die Seifenvorkommen werden ebenfalls ohne eigentlichen Bergbau durch hydraulische Waschprozesse ihres wertvollen Inhalts beraubt (vgl. Abb. 76 einer hydraulischen Goldwäscherei in Band I). Alle übrigen

Vorkommen aber müssen durch Tiefbau, d. h. unterirdisch aufgeschlossen und gewonnen werden. Diese Aufschließung erfolgt entweder durch Schächte, die mehr oder weniger senkrecht abgeteuft werden, oder durch horizontale oder ganz flach ansteigende Stollen. Liegen die tiefsten Stellen der Landschaft, in welcher die Lagerstätten auftreten, d. h. die Sohlen der Täler immer noch hoch über dem Erzvorkommen, so ist Schachtbau unerläßlich, streichen dagegen Erzgänge oder steil aufgerichtete oder gefaltete Lagerstätten zu Tage aus, so können sie im bergigen Gelände von den Sohlen der Täler aus durch Stollen tief unter ihrem Ausstriche an der Oberfläche aufgefahren werden. Der Stollen dient dann nicht nur zur Abbeförderung der gewonnenen Massen, sondern auch zur Ableitung der auf den meisten Erzlagerstätten einbrechenden, oft recht erheblichen Wassermengen.

Da es nicht möglich ist, an dieser Stelle einen vollständigen Abriß der technischen Bergbaukunde zu geben, so muß ich mich auf ergänzende Bemerkungen bei der Besprechung der einzelnen Lagerstätten beschränken.

b) Gewinnung der Erze und Metalle.

1. Gold. Im Altertum und Mittelalter wurde das Gold fast ausschließlich auf seiner zweiten Lagerstätte, in den sogenannten Seifen, durch einfache Handwäscherei gewonnen; man schwemmte durch fließendes Wasser die leichten Bestandteile des Flußsandes fort, die schwereren wurden dadurch angereichert und das Gold ließ sich aus ihnen leicht gewinnen. In der Neuzeit wurde dieser Waschbetrieb mit gewaltigen Druckwassermengen in den Goldseifen von Kalifornien und Alaska angewendet (Abb. 73, Bd. I, S. 121). Die Erkenntnis, daß alles Seifengold aus der Zerstörung der ursprünglichen Lagerstätten herrührt, führte bald zu deren Aufsuchung und Entdeckung. Meist waren es Quarzgänge, die mit sauren Eruptivgesteinen in Verbindung stehen und das Gold entweder als solches, als Freigold, oder an Schwefelkies gebunden enthalten. Die Hauptgoldländer der Erde sind heute Südafrika, Alaska, Westaustralien und Sibirien. In zweiter Linie folgen die westlichen Staaten der Union (Colorado, Nevada, Kalifornien) und Indien. In Europa findet Goldbergbau statt in den Tauern, bei Roudny in Böhmen, in Siebenbürgen, wo schon zur Römerzeit Gold aus Quarzgängen in trachytischen Eruptivgesteinen gewonnen wurde, im Fichtelgebirge und im Ural. In der berühmten Lagerstätte am Witwatersrande in Transvaal findet sich das Gold in groben Konglomeraten präkambrischen Alters, überwiegend als höchst fein verteiltes Freigold, zu $^1/_3$ aber an Schwefelkies gebunden. Die Randkonglomerate sind keine fossile Seife, sondern der Goldgehalt ist erst nachträglich in sie eingewandert. Die Bindung des Goldes an Schwefelkies ist überhaupt weit verbreitet und stellt wohl die ursprünglichste Form des Auftretens dar. Erst durch Oxydation in den der Erdoberfläche nahen Teilen oberhalb des Grundwasserspiegels ist das Gold aus den Kiesen in Freiheit gesetzt und in die Tiefe geführt, wo es bei Erreichung des Grundwasserspiegels durch gelöste Salze in gediegener Form ausgefällt und in der sogenannten Zementationszone wieder angereichert wurde. Daher kommt es, daß viele Goldlagerstätten bis zu einer gewissen Tiefe große Reichtümer bergen, um dann weiter nach unten rasch zu verarmen, so daß sie unbauwürdig werden.

In den goldführenden Flußsanden und Kiesen findet sich das Gold immer im unteren Teile der Ablagerung und tritt hier bisweilen in großen, unregelmäßig gestalteten Klumpen, den sogenannten Nuggets, auf. Der größte bekannte Klumpen dieser Art wurde in den Goldseifen von Dunolly im australischen Staate Victoria gefunden und wog 70,9 kg. Da man auf der ursprünglichen Lagerstätte gediegenes Gold niemals in so großen Stücken gefunden hat, die Nuggets auch in Struktur und chemischer Beschaffenheit sich ganz anders wie Berggold verhalten, so kann man nur annehmen, daß das Gold imstande ist, in der Seife zu wachsen, d. h. geringe, im Grundwasser gelöste Goldmengen anzuziehen und auf seiner Oberfläche abzuscheiden.

Die jährliche Goldproduktion ist ziemlichen Schwankungen unterworfen: Ihr Höchstbetrag wurde 1915 mit einem Werte von fast 2 Milliarden Goldmark erreicht, ist aber in den folgenden Jahren auf 1,4 bis 1,5 Milliarden gesunken. Die Hälfte davon erzeugt Südafrika, $^1/_4$ die Vereinigten Staaten und $^1/_{10}$ Australien, während auf alle übrigen Goldländer zusammen das letzte Siebentel entfällt. Von dem gewonnenen Golde verbraucht die Industrie 57%, während der Rest von den Staatsbanken als Notendeckung in Barren gelagert oder zur Münzenprägung verwendet wird.

2. Platin. Der größte Teil des Platins stammt aus Seifen, von denen nur die des Ural und von Columbien von Bedeutung sind. Die ursprünglichen Lagerstätten des Platins sind basische Eruptivgesteine, Serpentine, Pyroxenite und Peridotite, in denen in ganz bestimmten Zonen das Platin und seine Verwandten sowie von ihnen gesondert Chrom- und Nickelerze auftreten. Die Seifenvorkommen haben in jüngster Zeit in ihrer Ausbeute stark nachgelassen, dafür sind aber sehr große Mengen von Platin in den sogenannten Hortonoliten und Anorthositen, peridotitischen Eruptivgesteinen in Südafrika durch Merenski entdeckt worden. Die hier in einer Randzone des Gesteins auftretenden Mengen von gediegenem Platin sollen außerordentlich groß und in der Lage sein, den Industriebedarf für sehr lange Zeit zu decken. Auch in Süd-Rhodesien sind im südlichen Teile des „Great Dyke", eines 700 km langen Serpentin- und Noritganges, sehr beträchtliche Mengen von Platin und seinen Begleitern entdeckt worden. Die Weltproduktion an Platin erreichte als Höchstbetrag 1911 fast 10000 kg, ist aber heute stark zurückgegangen. Ganz ungeheuer war im letzten halben Jahrhundert die Preissteigerung des Platins: 1880 war das Verhältnis zum Gold wie 1 : 6, 1920 dagegen zeitweilig 5 : 1, in 40 Jahren also eine Steigerung von 3000%. Mit dem Platin legiert findet sich eine Anzahl von anderen Elementen der Platingruppe, Iridium, Osmium, Rhodium, Ruthenium und Palladium, die größtenteils nur für die chemische Industrie eine gewisse Bedeutung besitzen. Auch das Platin findet sich gelegentlich ebenso wie das Gold in großen Klumpen, sogenannten Nuggets, deren Gewicht bis 10 kg steigen kann.

3. Quecksilber. Das Quecksilber tritt gediegen nur als mineralogische Seltenheit auf. Die Hauptmasse des gewonnenen Materials ist an Schwefel in der Form des roten Zinnobers gebunden. Dieses Erz findet sich als Imprägnation in verschiedenartigen Gesteinen in der Nähe von Eruptivgesteinen, so daß man die Abscheidung des Zinnobers als letzte Nachwirkung vulkanischer Vorgänge aufzufassen hat. Die bekanntesten Vorkommen in Europa sind Almaden in Spanien, Idria in Krain

und der Mt. Amiata in Toskana. Außereuropäischen Lagern von Bedeutung begegnen wir in Kalifornien und Mexiko. Von der Weltproduktion von 420 t entfallen auf die Vereinigten Staaten 31%, auf Italien 46%, auf Spanien 20% und auf Mexiko 3%.

4. Silber. Das Silber findet sich in der Natur in zahlreichen verschiedenen Formen: Als gediegenes Silber, in draht-, moos- und fadenförmiger Masse, als Edelsilbererz an Schwefel, Arsen und Antimon gebunden in Form von Silberglanz und Rotgültigerz, als untergeordnete Beimischung in zahlreichen Blei-, Kupfer-, Zink-, Gold- und anderen Erzen. Es tritt fast immer in Erzgängen auf, deren Gangmasse aus Quarz, Kalkspat oder Schwerspat besteht. Der mächtigste aller bekannten Silbererzgänge ist die Veta madre in Mexiko, ein an junge Eruptivgesteine geknüpfter Quarzgang von 25—45 m Mächtigkeit und bedeutender Länge, welchem Mexiko in der Hauptsache seinen Silberreichtum verdankt. Von den 7000 t Silber der Weltproduktion von 1913 erzeugte Mexiko allein $^1/_3$, die Vereinigten Staaten etwas mehr als $^1/_4$, Kanada $^1/_{10}$ und Deutschland $^1/_{20}$. Die deutsche Silberproduktion stammt überwiegend aus dem Mansfelder Kupferschiefer, während der früher so ertragreiche Silbererzbergbau bei Freiberg i. S. und auf dem Harze bei Andreasberg infolge der Erschöpfung der Lagerstätte fast völlig eingegangen ist.

5. Kupfer. In gediegener Form findet sich Kupfer in Hohlräumen, Spalten und Gängen von Eruptivgesteinen vom Typus der Melaphyre und Diabase. Das reichste solcher Vorkommen kennen wir vom Oberen See in Nordamerika, wo Massen gediegenen Kupfers bis zu mehreren 1000 kg Gewicht vorkommen. Unter den Erzen ist der Kupferkies am wichtigsten, er kommt in sehr verschiedenartiger Verknüpfung mit anderen Mineralien vor, so ist er in Telemarken an Turmalin und Flußspat, in gangförmigen Lagerstätten wie in Katanga im Kongostaat an Quarz, in den südamerikanischen Kordilleren an silberreiche Erze, vor allem an Enargit, ein arsenhaltiges Kupfersulfid und in den weitverbreiteten Kupferschieferflözen des nord- und mitteldeutschen Zechsteins an bituminöse Schiefer geknüpft. Die Weltproduktion an Kupfer ist auf $1^1/_2$ Millionen Tonnen zu veranschlagen, zu denen Deutschland nur etwa 25000 t beisteuert.

6. Zinn. Völlig abweichend liegen die Verhältnisse beim Zinn; dieses Metall tritt in der Natur fast immer in Form von Zinnstein, einer Sauerstoffverbindung des Metalls, auf und ist immer an Granite gebunden, in denen er auf Gängen und als Imprägnation in Gesellschaft von Lithionglimmer, Topas, Turmalin, Flußspat und Quarz auftritt. Der Reichtum an fluorhaltigen Mineralien spricht für eine starke Mitwirkung vulkanischer, aus dem granitischen Magma herrührenden Gase bei seiner Entstehung. Die Hauptmasse des Handelszinns wird aber nicht aus Gangvorkommen gewonnen, sondern aus zerstörten und wieder umgelagerten Gangmassen, sogenannten „Seifen", und die Haupterzeugungsgebiete sind: die hinterindische Halbinsel Malakka und die den Niederländern gehörenden Inseln Banka und Biliton, die zusammen mehr als die Hälfte der gesamten Weltproduktion liefern; ein weiteres Drittel stammt aus Südamerika, während Nordamerika und Europa nur ganz geringfügige Mengen erzeugen (Erzgebirge, Cornwall). Das Zinn findet in der Hauptsache Verwendung zur Herstellung des sogenannten Weißbleches, d. h. verzinnten Eisenbleches.

7. Nickel. Nickelerze werden nur an zwei Stellen der Welt in beträchtlicher Menge gewonnen: in Kanada in der Gegend von Sudbury, wo nickelhaltige Magnetkiese mit Gabbrogesteinen verknüpft auftreten, und in Neukaledonien, wo Nickelsilikate (Garnierite) in Serpentingestein auftreten. Mehr als 60% der Weltproduktion entfallen auf das erstgenannte Gebiet. Die Hauptmasse des gewonnenen Nickels dient zur Herstellung von Nickelstahl, zur Vernickelung von Eisenwaren und zur Erzeugung von Ziergeräten aus Reinnickel.

8. Eisen. Das wichtigste Metall, von dem jährlich über 75 Millionen Tonnen gebraucht werden, ist das Eisen, welches aus einer ganzen Menge von Erzen gewonnen wird. Gediegenes Eisen und Nickeleisen, aus denen wahrscheinlich der größte Teil des Erdinnern besteht, sind an der Erdoberfläche recht selten, kommen aber in den Meteoriten häufig zur Erde. Unter den Erzen sind die wichtigsten der Eisenglanz, das Magneteisen, der Roteisenstein, Brauneisenstein und Spateisenstein. Wir können nur einige der wichtigsten Vorkommen herausgreifen. Im nördlichen Schweden liegt eine der größten Schwermetallanhäufungen der Welt bei Kirunavara (Abb. 82, Bd. I, S. 131). Dort findet sich eine fast 5 km lange, im Mittel etwa 70 m breite und bis 250 m über die Umgebung hervorragende Masse von fast reinem Magneteisen mit 55—70% metallischem Eisen und mit einem bis 5% betragenden Phosphorgehalt. Von beigemengten Mineralien ist nur Apatit noch der Erwähnung wert. Mit jedem Meter Abbau nach der Tiefe zu werden über 1,4 Millionen Tonnen Erze gewonnen. Diese ungeheure Eisenerzmenge ist ausgeschieden als jüngstes Restmagma beim Empordringen feldspatreicher Porphyre oder Syenitporphyre. Die Ofotenbahn verbindet dieses riesige Erzvorkommen mit Luleå an der Ostsee und mit Narvik an der norwegischen Küste. An beiden Orten gestatten großartige Ladevorrichtungen schnellste Beladung der Erzdampfer. Im Gegensatz zu diesem Eruptivlager stellt das zweite, für Deutschland wichtige Vorkommen, das der Lothringischen Minette, ein typisches Sedimenterz dar. Die Minette besteht aus winzigen, kaum über 1 mm großen Körnchen konzentrisch-schaligen Brauneisensteins, aus sogenannten Oolithen, die im Braunen Jura von Lothringen und Luxemburg Lager bis zu 8 m Mächtigkeit bilden und sich mit ungestört ebener Lagerung über mehrere Quadratmeilen ausdehnen. Auch in älteren Formationen, im Karbon, Devon und Silur, finden sich schichtige Eisenerzlagerstätten, so die Chamositerze im Silur Thüringens, der Bretagne und Normandie, die Roteisensteine des Lahn-Dillgebietes und die Kohleneisensteine (Sphärosiderite) in den Kohlenbecken Deutschlands, Englands und Nordamerikas. Unter den Gangvorkommen sind als für Deutschland wichtig in erster Reihe die Spateisensteingänge des Siegerlandes zu nennen und sodann die Roteisenerzlager des Erzgebirges und Thüringer Waldes. Auch im Kontakt von Eruptivgesteinen mit Sedimenten sind zahlreiche Lager von Eisenglanz und anderen oxydischen Erzen, aber auch solche von Schwefelkies entstanden.

9. Mangan. Nahe verwandt mit dem Eisen ist das Mangan, das in der Technik hauptsächlich zur Herstellung von Manganstahl dient. Seine Erze sind in der Hauptsache oxydischer Natur, doch findet es sich mehrfach auch als Beimengung von Eisenerzen, wie im Siegerländer Spateisenstein, der dann ohne weiteres zu einer Legierung beider Metalle verschmolzen werden kann. Die Produktion an reinen Mangan-

erzen beträgt rund etwa 2 Millionen Tonnen, die bisher in der Hauptsache aus dem Kaukasus und aus Indien geliefert wurden. Die kaukasischen Vorkommen sind sedimentäre, oolithische Pyrolusite, die horizontale Lager von 2—5 m Mächtigkeit in eozänen Tonen bilden. In jüngster Zeit sind in Südafrika riesige Manganlager entdeckt worden, deren außerordentlich bequemer Abbau den gesamten Manganmarkt der Welt stark umgestalten dürfte.

10. Chrom. Die Chromerze, die im wesentlichen neben der Verwendung in der chemischen Industrie der Stahlveredlung dienen, sind meist als Chromeisenstein an sehr basische Eruptivgesteine gebunden und treten infolgedessen häufig in Gesellschaft von Platin und Nickelerzen auf. Alle drei stellen Ausscheidungen aus den Randzonen solcher serpentinischen Gesteine dar. Die Jahresproduktion beträgt etwa $^1/_4$ Million Tonnen, von denen die Vereinigten Staaten, Südafrika und Neukaledonien je $^1/_3$ liefern.

11. Blei und Zink. Beide Metalle treten auf ihrer natürlichen Lagerstätte in so enger Verknüpfung auf, daß sie gemeinsam besprochen werden können. Das wichtigste Bleierz ist das Schwefelblei, der Bleiglanz, mit 86% Blei und einem, wenn auch meist geringen, so doch sehr wertvollen Silbergehalt. Mit dem Bleiglanz zusammen brechen auf den Gängen fast immer Zinkblende und Schwefelkies ein. Man spricht deshalb auch im allgemeinen immer von Blei-Zinkerzgängen. Sie setzen zumeist im alten kristallinen Gebirge und im Paläozoikum auf und ihre Ausbeutung bringt allein $^1/_3$ der Weltproduktion an Blei. In Deutschland liegen die wichtigsten Vorkommen im Erzgebirge, im Rheinischen Schiefergebirge, im Altvatergebirge und im Oberharz, in Böhmen bei Przibram. Die Haupterzeugungsgebiete für Blei liegen dagegen in der Neuen Welt in den Vereinigten Staaten und in Mexiko, die mehr als $^3/_4$ der gesamten Bleierzeugung von 1,2 Millionen Tonnen jährlich liefern. Deutschland erzeugt davon 75000 t. Das Hauptzinkerz, welches fast immer mit dem Bleiglanz vergesellschaftet auftritt, ist die Zinkblende. Eins der größten Zinkvorkommen ist das von Oberschlesien, in der Gegend von Tarnowitz-Beuthen. Es ist an Dolomite des Muschelkalkes geknüpft und besteht in einer Verdrängung des Dolomites durch Zinkblende und Bleiglanz, wobei ersterer vielfach in kohlensauren Zink (Galmei) umgewandelt ist. Ein ganz eigenartiges Vorkommen von Bleierzen findet sich bei Kommern und Mechernich im Rheinland. Hier sind die untersten Lagen des Buntsandsteins erfüllt mit sogenannten Knotten, d. h. Knötchen eines Gemisches von Bleiglanz und Sanden von 1—3 mm Durchmesser, die so massenhaft im Gestein liegen, daß es vielfach im ganzen abgebaut werden kann. Diese Knottenerze sind wahrscheinlich durch spätere Imprägnation der Sandsteine mit Lösungen von Bleisalzen entstanden, aus denen durch Reduktion der Bleiglanz ausgefällt wurde.

12. Kieslagerstätten. Eine ganz besondere Gruppe der Erzlagerstätten bilden die oftmals ganz gewaltigen Anhäufungen von Kiesen, d. h. von Sulfiden und Arseniden des Eisens und Kupfers. Diese Erze sind gewöhnlich normalen oder umgewandelten Sedimenten als konkordante Einlagerungen eingeschaltet, brauchen aber deshalb durchaus nicht gleichzeitig mit dem sie einschließenden Gestein (syngenetisch) entstanden zu sein, sondern können auch durch spätere Einwirkungen und Umwandlungen (epigenetisch) gebildet sein. Die Haupterze der Kieslagerstätten

sind der Schwefelkies, Kupferkies und Magnetkies. Zu den wichtigsten Vorkommen gehören die kupferreichen Fahlbanderze Skandinaviens, die goldreichen Fahlbänder Amerikas und Südafrikas, die Kieslager Norwegens und Spaniens (vgl. die Abb. S. 124 und 129 in Band I). Der größte Teil des gewonnenen Schwefelkieses dient zur Erzeugung von Schwefelsäure.

Auf eine Behandlung der seltenen Erze, wie Kobalt, Wolfram, Wismut Vanadium, Molybdän, Arsen und Antimon muß hier verzichtet werden. Nur eines merkwürdigen Metalles, des kostbarsten von allen, sei noch gedacht:

13. des Radiums. Dieses merkwürdige, in seinen Eigenschaften dem Barium etwas gleichende Element, ist immer an Uranerze gebunden und diese wiederum treten einmal als Uran-Pecherz in Gängen in der Umgebung von Granitstöcken auf, wie bei Joachimsthal und Johanngeorgenstadt im Erzgebirge, oder in Form von Imprägnationen einer als Karnotit bezeichneten Verbindung von Uran, Vanadium und Kalium in durchlässigem Sandstein, wie vor allen Dingen in Kolorado und Dakota. Eine dritte, wieder völlig abweichende Art des Vorkommens ist der sogenannte Kolm Mittelschwedens, ein an Kohlenstoff reicher, mit Schwefelkies durchtränkter Alaunschiefer, in welchem schwarzgraue Knollen einer metallreichen, kohlenhaltigen Masse liegen, deren Aschengehalt 25—40% beträgt, meist aus Metallen besteht und 1—3% Uran enthält. Dies sind die Ausgangsstoffe, aus denen das heilkräftige, mit den merkwürdigsten physikalischen und chemischen Eigenschaften ausgestattete Radium in Form von Radium-Bromid in mühevoller chemischer Arbeit in winzigen Mengen gewonnen wird.

c) Vorkommen und Gewinnung der fossilen Brennstoffe.

Unter den fossilen Brennstoffen lassen sich deutlich drei Gruppen unterscheiden: die festen Gesteine, die wir als „Kohle" und „Torf" bezeichnen, die fossilen flüssigen Kohlenwasserstoffe, die wir als „Erdöl" oder „Petroleum" kennen, aus denen nachträglich wieder feste Stoffe wie Asphalt, Bitumen und Erdwachs hervorgehen können, und schließlich die brennbaren natürlichen Gase. Bei den Kohlengesteinen ist eine pflanzliche Entstehung vollkommen sicher, während bei den flüssigen Kohlenwasserstoffen auch tierische Lebewesen an der Entstehung stark beteiligt gewesen sein können. Daß die Kohle aus pflanzlichen Stoffen entstanden ist, enthüllt uns einmal das Mikroskop, unter dem wir dies nach geeigneter Vorbehandlung erkennen können, dann aber und vor allem der Umstand, daß wir in unseren fossilen Brennstoffen eine zusammenhängende Reihe feststellen können, die uns von dem noch heute unter unseren Augen sich bildenden Torfe über die Braunkohle und Steinkohle schließlich zum Anthrazit und Graphit führt. Der Vorgang, durch den die Pflanzensubstanz in Kohle umgewandelt wird, wird als „Inkohlung" bezeichnet im Gegensatz zu der beim Meilerprozeß vor sich gehenden „Verkohlung" des frischen Holzes. Die Pflanzensubstanz verwest bei ungehindertem Luftzutritt unter vollständiger Zersetzung der organischen Verbindungen und unter Hinterlassung von ein wenig Asche; erst bei weitgehendem Luftabschluß, vor allem also unter mehr oder weniger vollständiger Wasserbedeckung, setzt der Vermoorungs- oder Vertorfungsprozeß ein, der zur Entstehung von Torf führt. Aus diesem entstehen dann durch verwickelte

Vorgänge geochemischer Natur unter dem langsam sich steigernden Druck der sich auflagernden Gebirgsschichten und unter der Einwirkung der durch Verlegung der Kohlen in größere Erdtiefen bedingten höheren Temperatur im Verlauf unendlich langer Zeiträume schließlich die alten Kohlengesteine. Demnach stellen Torf, Braunkohle und Steinkohle nur Stadien eines im allgemeinen gleichmäßig verlaufenden Entwicklungsganges dar, der mit der frischen Pflanze beginnt und mit Anthrazit oder gar Graphit endet. Eine Folge der fortschreitenden Inkohlung ist die Zunahme des Kohlenstoff- und die Abnahme des Sauerstoff-Wasserstoffgehaltes. Sehr gut wird dies durch die folgende bildliche Darstellung erläutert, die zugleich erkennen läßt, wie sich innerhalb der Steinkohlengruppe deutlich eine Entwicklung von der Gasflammkohle über die Gaskohle und Fettkohle zur Magerkohle und zum Anthrazit erkennen läßt. Dies ist auch die natürliche Aufeinanderfolge

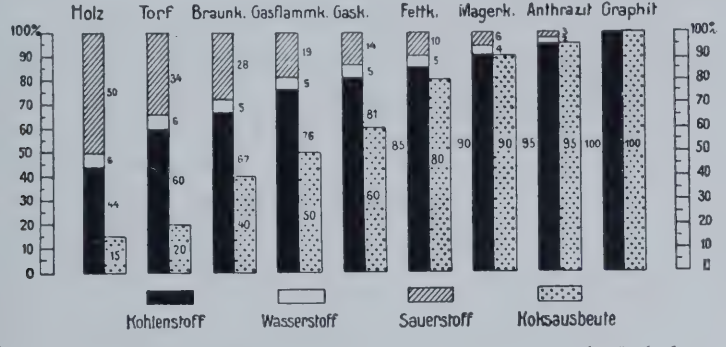


Abb. 194. Zunahme des Kohlenstoffes bei der Kohlenbildung. — Nach Kukuk, Unsere Kohlen.

in den einzelnen Kohlenbecken, in denen die Magerkohle die tiefsten, die Gasflammkohle die höchsten Flöze bildet.

Der Torf ist eine Bildung der letzten Erdperiode — des Quartärs —, die Braunkohle ist an die Ablagerungen des Tertiärs gebunden, den Steinkohlen endlich begegnen wir in den vortertiären Schichten von der Kreide bis in das ältere Paläozoikum. Diese Regel ist aber nicht ohne Ausnahme, denn wir kennen aus zweifellos karbonischen Schichten echte Braunkohle, wie im Moskauer Becken, und andererseits hochkohlenstoffhaltige, anthrazitische Kohle aus Schichten, die auf der Grenze zwischen Kreide gegen Tertiär stehen, wie in Spitzbergen. Ferner gibt es von der Steinkohle zur Braunkohle Übergangsbildungen, die sich nur schwer der einen oder anderen Gruppe anreihen lassen, was bisweilen zu großen Schwierigkeiten wegen der bergrechtlich vielfach sehr unterschiedlichen Bedeutung beider Kohlenarten führt. In den weitaus meisten Fällen aber lassen Farbe, Struktur und chemische Zusammensetzung eine scharfe Unterscheidung beider Gruppen zu.

1. Steinkohle.

Die wichtigste Formation für das Auftreten von Kohlenflözen ist die danach benannte Steinkohlenformation, die dem jüngeren Abschnitt des Altertums der Erde angehört. Echte Steinkohlen fehlen aber auch den übrigen paläozoischen und mesozoischen Formationen nicht. Im Silur und Devon besitzen sie zwar nur recht

unbedeutende Verbreitung, weil damals die Landpflanzen erst im Anfang der Entwicklung standen, aber schon im Rotliegenden finden sich, z. B. im Thüringer Walde, im französischen Zentralplateau und vor allem in China, typische Steinkohlen, im letztgenannten Lande sogar in außerordentlicher Verbreitung. In der dann folgenden Triaszeit waren besonders die Gebiete der südlichen Halbkugel, Australien, Südafrika und Südamerika, der Steinkohlenbildung günstig, während im Jura und in der Kreide wieder die nördliche Halbkugel bevorzugt war. So finden sich Jurakohlen in Ungarn, Persien und Südchina; Kreidekohlen im Wesergebirge, in Spitzbergen und im zentralen Nordamerika. Alle diese Vorkommen treten an wirtschaftlicher Bedeutung zurück gegen den Reichtum der Steinkohlenformation an bauwürdigen Flözen.

Die hauptsächlichsten europäischen Steinkohlenvorkommen bilden ein durch Mitteleuropa von England über Nordfrankreich, Belgien, die südlichen Niederlande, das Niederrheingebiet und das Ruhrgebiet verlaufendes Band, welches nach einer größeren Lücke in der Lausitz, in Nieder- und Oberschlesien wieder einsetzt und dann nach Osten hin weiter verläuft. Alle diese Kohlengebiete stellten zur Zeit der Entstehung ihrer Flöze ein weites Flachland dar, welches an das nördlich davon sich ausdehnende Meer angrenzte und im Süden als Hinterland ein ausgedehntes Gebirge hatte, welches als das variscisch-armorikanische Gebirge in der Geologie bezeichnet wird. Zugleich war dieses Steinkohlenland ein Senkungsgebiet, welches immer wieder unter Süßwasser, aber auch mehrmals unter Meeresbedeckung geriet. In diesem flachen, breiten, von zahllosen Lagunen bedeckten Küstenlande gediehen in niederschlagsreichem, warmem und feuchtem Klima die üppigsten Sumpfwälder, die das Material für die Kohlenflöze lieferten. Ihre abgestorbenen Reste fielen in das Wasser der Lagunen und machten hier ihren Vertorfungsprozeß durch; Flüsse und Bäche überschütteten die eben entstandenen Flöze mit Ton und Sand aus den Gebirgen des Hinterlandes, weitere Senkungen des Landes schufen aufs Neue die Vorbedingungen für aufs Höchste gesteigertes Pflanzenleben, und so setzte das Wechselspiel von Senkung und Verschüttung sich durch unendlich lange Zeiträume fort, mehrfach durch das Einbrechen des Meeres und die Erzeugung von Schichten mit Fossilien mariner Lebewesen unterbrochen. Nur so ist die zum Teil ganz außerordentlich hohe Zahl von Flözen und die enorme Mächtigkeit der Kohlenbildungen zu verstehen. So beträgt die Mächtigkeit der Steinkohlenformation im Ruhrbecken mindestens 3000 m mit 92 mehr oder weniger bauwürdigen Flözen von zusammen 80 m Mächtigkeit, während für das oberschlesische Becken eine Mächtigkeit von 6700 m mit 124 bauwürdigen Flözen von zusammen 172 m Kohlenmächtigkeit nachgewiesen ist.

Der bisher genannte mitteleuropäische Steinkohlengürtel bildet den sogenannten „paralischen", d. h. in der Nähe des Meeres entstandenen Teil des mitteleuropäischen Karbons. Dazu treten aber noch die meeresfernen „limnischen" Steinkohlenbecken. In Deutschland gehören zu ihnen: das Saarbecken und das niederschlesisch-böhmische Becken, sowie die kleinen Becken von Zwickau, Lugau, Ölsnitz i. S. Im Saarrevier hat die Steinkohlenformation eine Mächtigkeit von 2500 m mit etwa 55 bauwürdigen Flözen und 66 m gewinnbarer Kohle, während die Gesamtzahl der Flöze 205 beträgt, von denen $^2/_3$ allerdings nur durchschnittlich $^1/_4$ m mächtig sind. Wir müssen auch

beim Saarbecken annehmen, daß während seiner Entstehungszeit die von ihm eingenommene Landmasse in dauernder, langsamer Senkung sich befand.

Werfen wir nunmehr einen Blick auf die Verbreitung der produktiven, d. h. flözführenden Steinkohlenformation in den außerdeutschen Ländern Europas und in den übrigen Erdteilen: Das niederrheinische Kohlenrevier von Aachen greift im Limburger Becken und bei Venlo nach Holland und Belgien hinüber. Letzteres Land verfügt außer dem erst in unserem Jahrhundert aufgeschlossenen, ausgedehnten nordbelgischen Kampinebecken über das südbelgische Kohlenbecken, welches sich über Lüttich, Namur, Charleroi und Mons bis zur französischen Grenze erstreckt. Von hier zieht sich die Ablagerung in Nordfrankreich über Douai und Lens noch über 100 km weiter nach Westen fort. Jenseits des Kanals liegt die Fortsetzung zunächst in größerer Tiefe unter jüngeren Schichten begraben, wie nördlich von Dover durch Bohrungen festgestellt ist, tritt aber in Nord- und Südwales, in Mittel- und Nordengland und in Südschottland in etwa neun größeren Kohlenrevieren wieder an die Oberfläche. Die Entwicklung ist genau analog der des Ruhrbeckens und durch Einlagerung einer Anzahl von Horizonten mit marinen Fossilien gekennzeichnet.

Frankreich verfügt außer dem bedeutenden nordfranzösischen Becken über eine ganze Anzahl kleinerer Steinkohlenvorkommen im Zentralplateau und in den Westalpen.

In Spanien kennen wir ein größeres Kohlengebiet im Norden im asturisch-kantabrischen Gebirge, zwischen Valencia, Santander und Oviedo, und ein minder bedeutendes, in einzelne kleinere Becken aufgelöstes Vorkommen zwischen Guadalquivir und Guadiana, in der Gegend von Cordova und Ciudad Real.

Sehr arm an Steinkohle sind Italien und die Balkanhalbinsel, der ganze skandinavische Norden und die Schweiz.

Unter den Ländern, die aus dem alten Österreich hervorgegangen sind, haben nur die Tschechoslowakei und Polen größere, zum Teil sehr bedeutende Kohlenvorkommen. Das oberschlesische Steinkohlenbecken greift nach Polen und der Tschechoslowakei über, ebenso nach letzterer das niederschlesische Becken. In der Tschechoslowakei liegen außerdem noch die kleinen Becken von Prag, Pilsen und Rossitz.

Polen hatte bereits vor dem Raube des deutschen Oberschlesiens bedeutende Steinkohlenvorräte in der östlichen Fortsetzung des oberschlesischen Beckens, im Dombrowaer Revier, das sich nach Osten bis Krakau erstreckt.

Rußland hat zwei große karbonische Kohlenbecken: das Moskauer, in welchem die Umwandlung der Flöze merkwürdigerweise im Braunkohlenstadium steckengeblieben ist, wahrscheinlich weil die Karbonabsätze keine stärkere tektonische Beanspruchung und Verlagerung in größere Tiefe erfahren haben, und das Donetzbecken, nördlich des Asowschen Meeres, mit 30—40 stark gefalteten Flözen, welche als Gas-, Fett- und Anthrazitkohle ausgebildet sind.

Das kohlenreichste Land der Erde sind die Vereinigten Staaten. Karbonische Kohlen finden sich in der Osthälfte des Landes in fünf riesengroßen und einer Anzahl von kleineren Feldern, die in den Appalachen und an beiden Seiten des Mississippi von den großen Seen bis an den Rand der Golfküstenebene sich erstrecken. Dazu kommen zahlreiche Steinkohlenvorkommen in den Kreideschichten des Felsen-

gebirges und schließlich ausgedehnte Braunkohlenvorkommen, teils tertiären, teils Kreidealters in den Südstaaten und in der sogenannten Nordprovinz, welche Dakota, Ost-Montana und Nordost-Wyoming umfaßt.

Viel ärmer an Steinkohlen, aber reicher an Braunkohle ist Kanada, das allerdings erst zum Teil genauer durchforscht ist.

Arm sind Mexiko und die südamerikanischen Staaten.

Das gleiche gilt für ganz Afrika und große Teile Asiens. In diesem riesenhaften Erdteil verfügen nur Sibirien, China und Indien über allerdings sehr bedeutende Kohlenreichtümer. In allen drei Ländern besitzt nur ein Teil der Kohle karbonisches Alter. Viele und ausgedehnte Steinkohlenvorkommen, besonders in China und Indien, gehören dem Perm, dem Jura und dem Tertiär an.

Australien endlich besitzt eine Reihe von Kohlen, teils permo-karbonischen, teils jurassischen Alters in Queensland, Neusüdwales, Viktoria und Neuseeland. Die Steinkohlenformation der südlichen Hemisphäre ist gekennzeichnet durch eine ganz eigentümliche Vegetation, für welche großblätterige, ganzrandige Farne, ähnlich unseren Hirschzungenfarnen, die sogenannte Glossopteris- und Gangamopteris-flora, bezeichnend sind. Dazu kommt als weitere Merkwürdigkeit das über weite Landgebiete in Südamerika, Südafrika, Indien und Australien immer wieder-

	In Millionen metr. t		In Prozent der Welterzeugung		Zu- bzw. Abnahme
	1913	1925	1913	1925	
Europa.					
Großbritannien	292,0	246,7	23,98	21,25	− 2,73
Deutschland (ohne Saar, Pfalz, Oberschlesien u. Lothringen)	140,8	119,7	11,56	10,33	− 1,23
Saar u. Pfalz	13,2	13,0	1,08	1,12	+ 0,04
Ostoberschlesien	32,1	18,0	2,68	1,55	− 1,13
Frankreich ohne Lothringen	40,1	38,0	3,29	3,27	− 0,02
Lothringen	4,0	5,0	0,33	0,43	+ 0,10
Belgien	22,8	23,1	1,87	1,99	+ 0,12
Tschechoslowakei	14,3	18,0	1,17	1,55	+ 0,38
Europäisches Rußland	27,3	12,0	2,24	1,03	− 1,21
Polen (ohne Oberschlesien)	8.9	10,8	0,73	0,93	+ 0,20
Übrige Länder	11,6	17,7	0,97	1,52	+ 0,56
Europa zusammen	607,1	522,0	49,90	45,00	− 4,90
Amerika.					
Vereinigte Staaten	517,1	524,4	42,46	45,23	+ 2,77
Übrige Länder	15,2	20,0	1,25	1,72	+ 0,47
Amerika zusammen	532,3	544,4	43,71	46,95	+ 3,24
Asien	54,7	65,0	4,48	5,60	+ 1,12
Afrika	8,7	10,0	0,72	0,86	+ 0,14
Ozeanien	14,5	17,5	1,19	1,51	+ 0,32
Weltförderung	1217,9	1158,9	100,00	100,00	

kehrende Auftreten von Spuren einer älteren permischen Eiszeit, bestehend aus Moränenbildungen mit gekritzten Geschieben und abgeschliffenen, gekritzten und polierten Gesteinsoberflächen, auf denen diese Moränen auflagern. Die Erörterungen über die Ursachen dieser befremdlichen Erscheinungen sind noch im Gange.

Über die Steinkohlenförderung der Welt und über die Verschiebung der Verhältnisse, die sich während des Krieges herausgebildet haben, gibt die nebenstehende Zusammenstellung Auskunft, die die Produktion der Haupterzeugungsländer in den Jahren 1913 und 1925 und ihren Anteil an der Welterzeugung in Prozenten wiedergibt.

Aus dieser Zusammenstellung geht hervor, daß die Vereinigten Staaten ihre Stellung als Hauptproduzent noch verstärkt haben und daß der Rückgang, der die Hauptkohlenländer Europas betroffen hat, vor allem Amerika und in zweiter Linie Asien zugute gekommen ist.

2. Braunkohle.

Die Anschauungen über die Entstehung der Kohlenflöze sind entscheidend durch die Beobachtungen an Braunkohlen beeinflußt worden. Das Auftreten von bewurzelten Baumstämmen in aufrechter Stellung im unteren, mittleren und oberen Teile mancher Braunkohlenflöze (Abb. 195) und die Feststellung, daß es sich dabei um an Ort und Stelle gewachsene Sumpfzypressen (Taxodien) und Mammutbäume (Sequoien) handelt, beides Bäume, die heute in den Waldmooren der südlichen Vereinigten Staaten leben, beweist, daß auch der größte Teil unserer Braunkohlenflöze durch eine an Ort und Stelle gewachsene Vegetation nach Art der heutigen Waldtorfmoore entstanden ist. Man bezeichnet solche Kohlenflöze als „autochthon" oder „bodeneigen", im Gegensatz zu den durch Zusammenschwemmung entstandenen, viel seltener auftretenden „allochthonen" oder „bodenfremden" Flözen. Die Rolle der Taxodienstubben in der Braunkohle spielen in der Steinkohlenformation die Stigmarienhorizonte, d. h. Wurzelstöcke von Schuppenbäumen, deren häutige Wurzeln das Liegende der Kohlenflöze in solcher Stellung erfüllen, daß sie notwendig in diesen gewachsen sein müssen. Damit ist auch für die übergroße Mehrzahl der Steinkohlenflöze der Nachweis der Autochthonie erbracht. — Bezüglich der Braunkohle sieht man gern in den Zypressensümpfen Karolinas ein lebendes Analogon, doch scheint manches dafür zu sprechen, daß die gewaltigen Moore der Braunkohlenzeit trockner als jene waren. Während nämlich die Stämme der amerikanischen Sumpfzypresse mit mächtigen, knieförmigen Atemwurzeln versehen sind, die ihnen das Leben in den fast dauernd überschwemmten Sümpfen gestatten, zeigen die Taxodien der Braunkohlenformation diese Erscheinung nur sehr wenig und ausnahmsweise.

Auch die Braunkohlenflöze müssen überwiegend, wenigstens soweit es sich um mächtigere Vorkommen handelt, in Gebieten entstanden sein, die einer dauernden, langsamen Senkung unterworfen waren, denn nur so läßt sich die zum Teil ungeheure Mächtigkeit vieler Vorkommen erklären. Wenn im australischen Staat Viktoria bis weit über 100 m mächtige Braunkohlenflöze auftreten und wenn wir die gleiche Mächtigkeit auch in den Braunkohlengebieten des Kölnischen Vorgebirges, des Geisel-

Abb. 195. Fossile Baumstümpfe im Liegenden des Tagebaues Renate.

tales und des Harzvorlandes beobachten, wenn wir weiter an zahlreichen Stellen Braunkohlen in 20—30 m Mächtigkeit beobachten, so ist das nur so zu verstehen, daß das Becken, in welchem sie sich bildeten, dauernd sank, das Grundwasser, welches für die Ernährung solcher Vegetation unbedingte Voraussetzung war, also beständig anstieg. Einen schönen Beweis für solche Entstehung haben wir in den langgestreckten Braunkohlenbecken, die die sattelförmigen Aufpressungen norddeutscher Salzstöcke begleiten. Das unter Druck plastische Salz ist auf langen Linien aufgestiegen und durch die Abwanderung des Salzes in die Aufpressungszone sind zu beiden Seiten derselben Senken entstanden. In diesen dauernd sich vertiefenden Senken bildeten sich die Flöze. Daß die Senkung während der ganzen eozänen Braunkohlenzeit anhielt, wird dadurch bewiesen, daß die ältesten Flöze am stärksten, die jüngsten am wenigsten eingemuldet sind. So besitzen an der Westseite des Staßfurter Sattels die tieferen Flöze in den randlichen Teilen der Mulde Neigungen bis zu 50°.

Die Braunkohlen treten im allgemeinen nur im Tertiär auf, doch gibt es auch karbonische und der Kreideformation angehörende Braunkohlen, bei denen infolge mangelnden Druckes und unzureichender Erwärmung die Umwandlung der pflanzlichen Stoffe nicht bis zur Erzeugung von Steinkohle vorgeschritten ist. In Deutschland haben wir im Tertiär zwei Hauptzeiten der Braunkohlenbildung: im älteren Tertiär im Eozän, im jüngeren im Miozän. Während die ältere Braunkohle ein verhältnismäßig kleines Verbreitungsgebiet in den Provinzen Sachsen und Hannover, sowie in Anhalt und Braunschweig besitzt, dehnt sich die jüngere über weite Gebiete Norddeutschlands von Ostpreußen bis zum Niederrhein aus. Merkwürdigerweise decken sich die Verbreitungsgebiete beider nur in einem sehr kleinen Gebiete bei

Bitterfeld. In die Zeit zwischen der Ablagerung der beiden verschiedenalterigen Braunkohlenformationen fällt die oligozäne Meeresbedeckung Norddeutschlands, die als wichtigste Ablagerung den bis über 100 m mächtigen Septarienton hinterließ.

Die Zahl der Flöze in den einzelnen Braunkohlenrevieren bleibt weit hinter der Zahl der Steinkohlenflöze zurück, denn während bei diesen Dutzende, ja selbst über 100 Flöze nacheinander gebildet wurden, finden wir in den Braunkohlenbecken manchmal nur ein oder zwei Flöze, häufiger 3—6, selten mehr Flöze; dagegen zeigen die Braunkohlenflöze, wie schon oben ausgeführt, viel größere Mächtigkeiten, als die Steinkohlen; dabei darf allerdings nicht vergessen werden, daß bei der Braunkohle die Struktur viel lockerer ist, als bei der Steinkohle. Für erstere kann man einen Betrag der Setzung von 2—$2^1/_2$ m annehmen, d. h. aus 2—$2^1/_2$ m Ausgangssubstanz (Torf) ist 1 m Braunkohle entstanden. Für die Steinkohle kennen wir den Setzungswert nicht sicher, aber es ist durchaus wahrscheinlich, daß er in der Größenordnung 5—10 liegt.

Nach chemischer Zusammensetzung und Struktur werden wie bei der Steinkohle auch bei der Braunkohle mehrere Arten unterschieden, und zwar die gemeine Braunkohle mit dichter Struktur und flachmuscheligem bis unebenem Bruche, die erdige Braunkohle von krümeliger Struktur, der Lignit mit deutlicher Holzstruktur, die Pechkohle mit steinkohlenähnlichem Aussehen, die Schweelkohle mit hohem Gehalte an destillierbaren Stoffen, aus der Paraffin und Mineralöl gewonnen wird, und die hellfarbige Wachskohle, die wie Siegellack am Feuer schmilzt und 40—50% Harz und Wachs enthält.

In Deutschland lassen sich trotz der weiten Verbreitung besonders der jüngeren Braunkohlenformation deutlich mehrere Bezirke unterscheiden, in denen besonders reiche, bergbaulich ausgenutzte Braunkohlenlagerstätten auftreten. Am meisten nach Westen vorgeschoben finden wir den Kölner Bezirk, in welchem ein Flöz von 18—100 m Mächtigkeit der miozänen Braunkohlenformation in zahlreichen Tagebauen gewonnen wird. Dann folgt nach Osten der hessische, in eine Anzahl kleinerer Becken aufgelöste Bezirk, in welchem die Braunkohle vielfach von Basalt durchbrochen und durch dessen Hitzewirkung veredelt, d. h. in steinkohlenähnliche Bildungen umgewandelt ist. Daran schließt sich nach Nordosten der Braunschweig-Magdeburger Bezirk, in welchem ältere, eozäne Braunkohle in einer Anzahl von langgestreckten, zum Teil mit Salzaufbrüchen in Verbindung stehenden Mulden gewonnen wird (Egeln, Aschersleben, Helmstedt). An ihn schließt nach Süden das thüringisch-sächsische Becken, von welchem ebenfalls der größere Teil der älteren, nur ein kleiner Teil der jüngeren Braunkohlenformation angehört. Auch in ihnen schwillt, wie am Rhein, die Kohlenmächtigkeit gelegentlich, wie im Geiseltal bei Merseburg, bis zu 100 m an. Noch weiter östlich liegt der Niederlausitzer Bezirk, in welchem, hauptsächlich im Elstertal von Elsterwerda bis Hoyerswerda, ein blühender Bergbau auf zwei Flözen von 10 und 20 m Mächtigkeit umgeht, und weiter nach Osten der Oberlausitzer Bezirk, der wieder in eine Anzahl von kleineren Becken aufgelöst ist. Etwas weiter nördlich liegt an beiden Seiten der Oder bei Frankfurt a. O. der Brandenburger Bezirk, in welchem die in größerer Zahl auftretenden Flöze in Formsand eingebettet sind, und weiter im Osten der Posener Bezirk. In letzterem wird das Hauptflöz von 8—15 m Mächtigkeit von bis 100 m mächtigen Süßwassertonen

überlagert. Ganz im Süden, schon im Alpengebiet, haben wir dann noch den oberbayrischen Bezirk am Hohen-Peißenberg und bei Penzing mit einer der tertiären Molasse eingelagerten, steinkohlenartigen Braunkohle.

Die hohe wirtschaftliche Bedeutung der deutschen Braunkohle geht aus der gewaltigen Förderung hervor, die gegenwärtig etwas über 150 Millionen Tonnen jährlich beträgt. Die noch vorhandenen Braunkohlenvorräte werden auf 22 Milliarden Tonnen geschätzt, die bei gleichbleibender Produktion noch für 200 Jahre reichen würden.

Von anderen europäischen Ländern erwähnen wir noch die Tschechoslowakei, die am Fuße des Erzgebirges von Aussig bis Eger noch etwa 10 Milliarden Tonnen ausgezeichneter Braunkohle besitzt, sowie Bosnien und Ungarn.

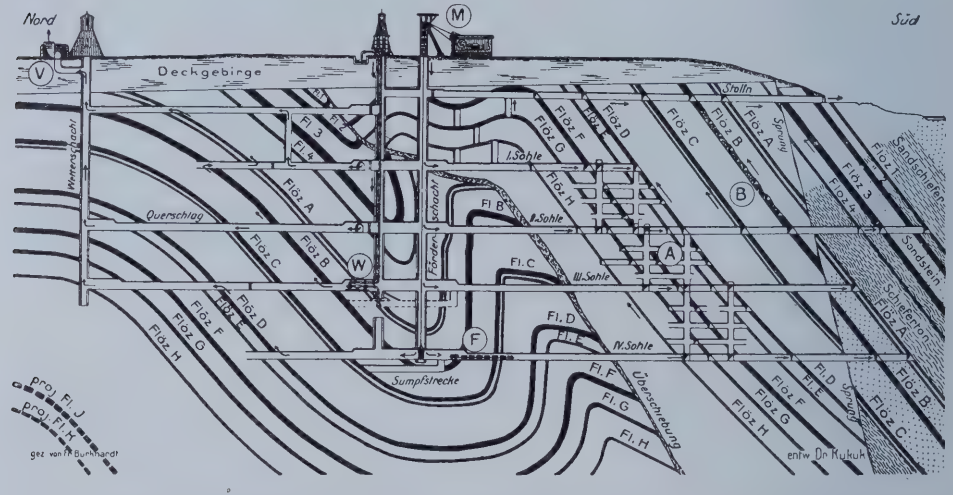


Abb. 196. Schematischer Schnitt durch eine westfälische Kohlengrube. A Abbau mit Stapelschächten und Ortsquerschlägen. B Abgebautes und versetztes Flöz. F Lokomotivförderung. M Fördermaschine und Fördergerüst. V Ventilator für die Bewetterung. W Pumpe zur Hebung der Grubenwässer. ⟶ Richtung des Wetterstromes. — Nach Kukuk, Unsere Kohlen.

Ganz ungeheuerlich sind die Braunkohlenvorräte der Vereinigten Staaten in der Golf-, Felsengebirgs- und Nordprovinz, die auf 2500 Milliarden Tonnen, also mehr als das Hundertfache der deutschen Vorräte geschätzt werden. Auch Kanada hat an diesem gewaltigen Reichtum teil, während die übrigen außereuropäischen Länder daneben fast verschwinden.

Die Gewinnung der Braunkohle wie der Steinkohle erfolgt teils unterirdisch im sogenannten Tiefbau, teils unter freiem Himmel im Tagebau, doch ist die Verteilung beider Abbaumethoden bei beiden gerade umgekehrt. Die Steinkohle muß wegen ihrer tiefen Lage, weit von der Oberfläche entfernt, fast überall im Tiefbau gewonnen werden und nur an wenigen Stellen der Erde, wie in Sibirien, kommt sie der Oberfläche so nahe, daß sie durch Tagebau gewinnbar wird. Dagegen wird die weitaus größte Menge der jungen, nahe der Oberfläche liegenden Braunkohle in großen, zum Teil über mehrere Quadratkilometer sich ausdehnenden Tagebauen gewonnen. Die Förderung im Tiefbau tritt demgegenüber außerordentlich stark zurück. Der Tiefbau erfolgt durch Schächte, die heute schon im Steinkohlen-

bergbau bis über 1200 m hinabreichen, und durch von ihnen ausgehende horizontale Strecken, wie die nebenstehende Abbildung 196 dies veranschaulicht. Beim Tiefbau wird nur die Kohle gewonnen und die durch das Herausbrechen der Kohle entstandenen Hohlräume werden, um ein Zusammenbrechen und eine Zerstörung der darüberstehenden Gebäude zu verhüten, durch Gesteine oder neuerdings meist durch hineingespülten Sand wieder verfüllt. Beim Tagebau dagegen wird durch gewaltige Eimer- oder Greifbagger (Abb. 197—199), die teils von oben nach unten, teils umgekehrt arbeiten, zunächst in mehreren Schnitten das über der Kohle liegende

Abb. 197. Greifbagger.

Deckgebirge restlos beseitigt, diese dadurch freigelegt und dann in ihrer Gesamtheit gewonnen. Der Vorteil des Tagebaus liegt hauptsächlich darin, daß die beim Tiefbau unvermeidlichen Abbauverluste, die bis zu einem Drittel steigen können, fast ganz vermieden werden. Tagebaue werden dann angelegt, wenn die Mächtigkeit des Deckgebirges, des „Abraums", die des Flözes um nicht mehr als das Drei- bis Vierfache übertrifft, d. h. wenn auf 1 m Kohle nicht mehr als 3—4 m Decke entfallen. Dieses Verhältnis hat sich mit der Verbesserung und Mechanisierung der Abraumarbeiten ständig verschoben. Zu Beginn des Braunkohlenbergbaus glaubte man, Tagebaue seien dann nur wirtschaftlich, wenn die Decke höchstens so mächtig sei, wie das Flöz. Dann kam man auf das Verhältnis 1 : 2 und heute richtet man Tagebaubetriebe bereits bei einem Verhältnis von 1 : 4 ein.

Die Gewinnung der Kohle erfolgte früher sowohl bei Steinkohle wie bei Braunkohle durch Handarbeit (vgl. Abb. 142, Bd. I, S. 183), während diese heute mehr und mehr durch elektrisch angetriebene Bohr- und Schwämmaschinen bei der Steinkohle, durch Löffel- oder Greifbagger bei der Braunkohle ersetzt werden. Die gewonnene Kohle erfährt noch allerlei Behandlung, bevor sie dem Verbrauch zugeführt wird; die Steinkohle muß von Schieferstücken befreit und bei stärkerer Verunreinigung gewaschen werden. Durch ein System von Sieben wird sie ferner in verschiedene Größenordnungen zerlegt. Auch bei der Braunkohle kann ein Waschen nötig werden, wenn sie durch unregelmäßig eingelagerte Sandmassen verunreinigt ist. Ein Teil der Kohle gelangt als „Rohkohle" zum Versand, ein Teil wird durch Brikettierung veredelt, ein dritter verfällt dem Verschwelungsprozeß, ein vierter

Abb. 198. Tiefbagger.

dient der Gas- und Kokserzeugung. Die Zeit dürfte nahe sein, in der der allergrößte Teil der Kohle zunächst durch Verflüssigung in höherwertige Erzeugnisse umgewandelt wird.

3. Torf.

Der jüngste unserer fossilen Brennstoffe ist der Torf, den wir als den Ausgangspunkt aller Kohlenbildung bereits kennengelernt haben. Er ist ein Produkt unserer Zeit, des Alluviums, und bildet sich noch heute besonders in den nördlichen Ländern der Erde, fehlt aber auch in wärmeren Zonen bis zum Äquator hin nicht völlig. Überall, wo bei gemäßigtem, kühlem, niederschlagsreichem Klima stagnierende Gewässer vorkommen oder das Grundwasser dicht unter der Erdoberfläche steht, können sich Torflager bilden. Bei reichlicher Zufuhr nährstoffreicher Wasser entstehen Flachmoore. Wachsen diese allmählich über den Spiegel des Grundwassers empor, so läßt die Ernährung der Vegetation nach, die ursprünglichen Flachmoorpflanzen verschwinden und werden durch eine neue, entsprechend bescheidenere Gesellschaft ersetzt, in welcher Sumpfmoose, kleine Riedgräser und Wollgräser, sowie einige

kleine strauchartige Gewächse die Hauptrolle spielen. Auf diese Weise entwickelt sich beispielsweise durch die Sumpfmoose das Flachmoor zum Hochmoor. Während auf den Flachmooren Erlen und Weiden nebst Eschen gedeihen, trägt das Hochmoor von Bäumen nur verkrüppelte Moorkiefern. Das Alter eines Torfmoores kann mehrere Tausend Jahre betragen und seine Mächtigkeit bis zu 20 m anschwellen. Beides sind aber Ausnahmen und die durchschnittliche Mächtigkeit unserer Flachmoore dürfte 3—5, die unserer Hochmoore 5—8 m betragen.

Deutschland ist außerordentlich reich an Mooren, und besonders die Küstengebiete der Nordsee tragen zwischen der Ems und der unteren Elbe quadratmeilengroße Hochmoore, von denen das von der holländischen Grenze durchschnittene Burtanger Moor das größte darstellt.

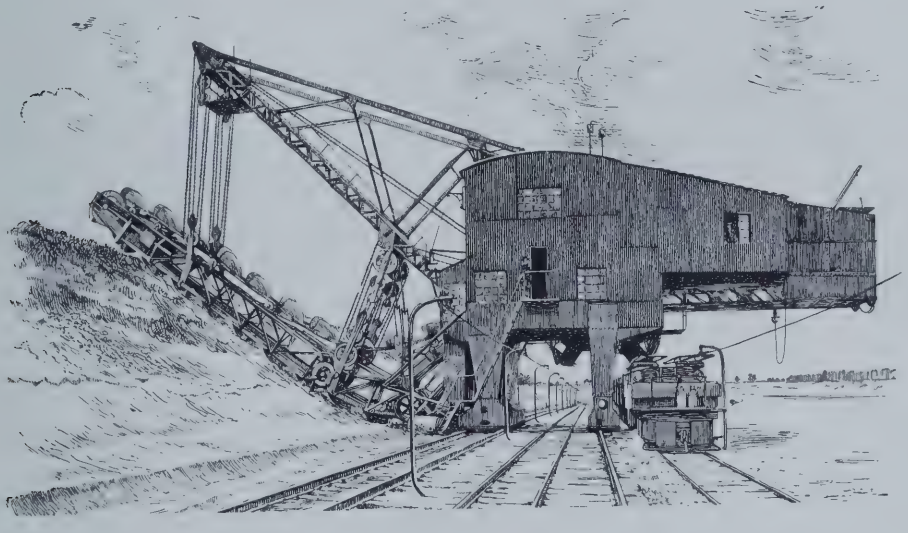


Abb. 199. Hochbagger.

Während früher der Torf ausschließlich dem Hausbrand diente und in Tausenden von kleinen Torfstichen (vgl. Abb. 141, Bd. I, S. 182) gewonnen wurde, geht man heute dazu über, den Torf an Ort und Stelle durch Vergasung in elektrische Kraft umzuwandeln (Aurich in Ostfriesland).

4. Erdöl.

Nächst der Kohle ist das Erdöl das Naturerzeugnis, welches in größter Menge dem Schoß der Erde entnommen wird und die höchsten Werte darstellt. Dieser merkwürdige Stoff, der vor der Entwicklung der Bohrtechnik den Menschen nur an wenigen Stellen und in sehr geringen Mengen zur Verfügung stand, hat wohl rücksichtlich seiner Entstehung wie seines natürlichen Vorkommens die Geologen und Chemiker am lebhaftesten beschäftigt, und der Kampf der Meinungen in bezug auf beide Fragen hat lange und mit Heftigkeit getobt. Die einen leiteten die Entstehung des Erdöls aus der Einwirkung von Wasser auf Metallkarbide im glutflüssigen Magma ab, andere setzten sich leidenschaftlich für eine Entstehung aus

tierischen Stoffen, die dritten für eine solche aus pflanzlichen Körpern ein und noch andere kombinierten die beiden letzten Entstehungsweisen. Heute haben sich die Meinungen dahin geklärt, daß die Fette und Eiweißstoffe der tierischen Körper, vor allem die der marinen Lebewesen, sowie die ähnlichen Stoffe der Pflanzenwelt den Hauptanteil an der Erzeugung der flüssigen Kohlenwasserstoffe besitzen. Vorbedingung für die Bildung von Erdöl ist rasche Einbettung der abgestorbenen Körper und ein beträchtlicher Druck bei erhöhter Wärme. Nur wenn die Entstehung sich in porösen, aufnahmefähigen Gesteinen, wie Sanden, Sandsteinen oder klüftigen Kalken vollzieht, können sich flüssige Erdöle bilden; erfolgt aber die Einbettung in tonigen Gesteinen, so entstehen Ölschiefer, die das Bitumen zäh festhalten.

Mit dem Erdöl zusammen tritt fast immer Wasser auf, meist ist es salzig und hat die Zusammensetzung des Meerwassers, enthält aber keine Sulfate, wohl aber Jod und Brom. Das Fehlen von schwefelsauren Verbindungen, vor allem von Gips, im Wasser der Erdöllagerstätten erklärt sich daraus, daß das Bitumen einen stark reduzierenden Einfluß ausübt und aus der Zersetzung des gelösten Gipses freier Schwefel, Schwefelwasserstoff und Metallsulfide hervorgehen. Letztere bestehen zumeist aus Schwefelkies und Markasit und finden sich gewöhnlich in den Hangendschichten der Erdöllagerstätten. Es ist wohl kaum zweifelhaft, daß diese salzigen Wasser Reste alten Meerwassers darstellen, die sich in den Gesteinsporen halten konnten.

Ein dritter ständiger Begleiter des Erdöls sind die Erdgase, auf die am Schluß dieses Abschnittes noch zurückzukommen ist.

Das Erdöl kann in allen Formationen vom Kambrium bis zur Jetztzeit entstanden sein, doch nimmt die Menge der Vorkommen mit dem Alter der Schichten stark ab und erreicht infolgedessen in den jüngeren Tertiärablagerungen ihr Maximum. Die erdölführenden Schichten sind zumeist durch die große Mächtigkeit der einzelnen Formationen, die bis zu 2000 m gehen kann, gekennzeichnet und ferner dadurch, daß in überwiegend tonigen Schichten sich mehr oder weniger weit ausgedehnte Lagen oder Linsen von sandigen Einlagerungen finden, die gewöhnlich nach oben und unten hin unmerklich in die Tone übergehen. Die Lagerstätten des Erdöls, wie sie uns heute begegnen, finden sich zum größten Teil nicht an der Stätte ihrer ursprünglichen Entstehung, sondern sind infolge ihres flüssigen Zustandes in andere, ihnen mehr zusagende Schichten abgewandert. Es hängt vollständig von den Lagerungsverhältnissen ab, ob sie dabei in ältere oder jüngere Bildungen hineingeraten, und sie verhalten sich in dieser Beziehung genau ebenso wie die natürlichen Salzlösungen. Die Verwechslung der heutigen Lagerstätte mit der ursprünglichen ist eine der Ursachen, die eine Erklärung der Entstehung des Erdöls so lange Zeit erschwert haben.

Wasser, Öl und Gase finden sich auf den Erdöllagerstätten nicht gemischt, sondern gesondert, und zwar ist die Trennung um so vollkommener, je durchlässiger das Gestein ist. Die Sonderung erfolgt naturgemäß nach dem sehr verschiedenen spezifischen Gewicht, und die räumliche Verteilung der drei Elemente hängt im wesentlichen von den Lagerungsverhältnissen der Gesteine ab: In vollkommen horizontalen Schichten wird der untere Teil vom Salzwasser, der obere vom Öl eingenommen, in welchem das Gas absorbiert ist, doch kann es auch dann gelegentlich

in einzelnen Taschen in stark zusammengepreßter Form über dem Öl sich finden. In geneigten Schichten, in denen undurchlässige Schiefergesteine durchlässige Sandeinlagerungen führen, wird das Öl in die höheren Teile emporsteigen, das Salzwasser die tieferen erfüllen. Das Gas wird teils im Öl absorbiert sein, teils sich noch oberhalb desselben befinden und infolge seiner Komprimierung einen sehr hohen Druck ausüben. Sind die Schichten gefaltet (Abb. 200), wechseln also Sättel und Mulden miteinander ab, so steigen Gas und Öl in die Sättel, während das Salzwasser die Mulden erfüllt. Diese Lagerungsform ist die in den Ölfeldern verbreitetste und hat die größten Ölmengen geliefert; deshalb sind die Geologen, die sich mit der Untersuchung von Ölgebieten beschäftigen, immer darauf bedacht, durch genaue Messungen des Streichens und Einfallens der Schichten die Lage von Schichtgewölben, also von Kuppeln und Sätteln, festzustellen, da in solchen zuerst ein Ertrag zu erwarten steht.

Die Gewinnung des Erdöls erfolgt fast ausschließlich durch Bohrungen, nur in seltenen Ausnahmen, wie bei Pechelbronn im Elsaß, durch Bergbau. Die Gewinnung aus natürlichen Quellen flüssigen Erdöls ist außerordentlich geringfügig. Die Tiefe der Bohrlöcher schwankt ungemein, von weniger als 100 bis zu mehr als 2000 m, ja die beiden tiefsten Bohrlöcher der Welt, Clarkberg und Fairmont in Westvirginien mit 2242 und 2311 m Tiefe, sind Bohrungen auf Erdöl.

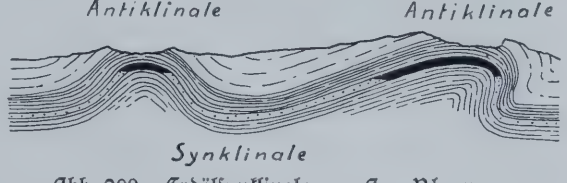


Abb. 200. Erdölsynklinale. — Aus Blumer.

Bezeichnend für die Erdölgebiete ist die Häufung von Bohrlöchern auf engstem Raume (siehe Tafel). Die ölreichen Gebiete sind oft mit Hunderten von Bohrtürmen auf Flächen von wenigen Quadratkilometern Größe besetzt, und wenn solche reichen Ölfelder an das Meer grenzen, dann gehen die Bohrungen auch über die Strandlinie hinweg und ins Meer hinein, wie an der kalifornischen Küste.

In den meisten Fällen stehen die Erdöllagerstätten unter dem Druck der in ihnen eingeschlossenen oder mit ihnen zusammen vorkommenden Gase, so daß das Öl in den Bohrlöchern mehr oder weniger hoch emporsteigt. Bleibt es bei diesem Emporsteigen unter der Erdoberfläche zurück, so muß es gepumpt werden, steigt es über dieselbe empor, so kann es entweder ruhig ausfließen oder es wird als sogenannter „Spritzer" in die Erscheinung treten. Man versteht darunter mehr oder weniger hohe Erdölfontänen, die sich aus dem Bohrloch erheben und entweder stoßweise oder gleichmäßig gewaltige Ölmengen auswerfen. „Ein solcher unstetiger Spritzer, der aus einer Bohrröhre von großem Querschnitt tritt, bietet ein fesselndes Schauspiel dar. Eine massige Säule schaumigen, dunkelbraunen Öles vom Durchmesser des Bohrloches steigt langsam und majestätisch über die Verrohrung und fällt in gewaltigen, zierlichen Kaskaden nach allen Seiten. Sie steigt höher und höher, vergrößert immer mehr ihre Kraft und erreicht schließlich den Gipfel des Bohrturmes. Der Druck wächst weiter, bis der gemischte Strahl von Öl, Sand und Gas oder gar Gesteinsstücken mit donnerartigem Getöse und furchtbarer Heftigkeit das Dach des Bohrturmes durchbricht und oft selbst Teile des übrigen Balkenwerkes

fortreißt. In wenigen Minuten hat sich das alles abgespielt und sind vielleicht 10—20 Tonnen Öl in der Minute ausgeschleudert worden. Dann folgt plötzlich Ermattung und Ruhe.

Bisweilen geraten Spritzer in Brand und können als bis 100 oder vielleicht gar mehrere 100 m hohe Feuersäulen tage- und wochenlang, ja, wie auf Caddo in Louisiana, jahrelang brennen, wobei gewaltige Schätze in Rauch und Flammen aufgehen und das Feuer auf 20—30, ja auf über 50 km Entfernung sichtbar sein kann. Eine solcher Brand gehört zu den schrecklichsten Ereignissen auf einem Bohrfelde; er kann in wenigen Stunden ungeheure Verwüstungen und große Verluste an Menschenleben verursachen.

Im Frühjahr 1901 wurde in Romany auf der Halbinsel Apscheron bei Baku ein riesiger Brunnen angebohrt, dessen über alle Felder hörbares Getöse viele Leute aus dem Schlafe weckte, der den Bohrturm schon beim ersten Ausbruch in Trümmer schlug und eine senkrechte Säule von Öl und Sand vielleicht 100 m in die Luft emporsteigen ließ, wobei Gesteinsstücke nach allen Himmelsrichtungen geschleudert und die Umgebungen mit Öl überschüttet wurden. Bohrturm und Maschinenhaus waren bald begraben unter einem Sandhügel, aus dessen Mittelpunkt der große Spritzer weiter aufstieg. Jedes Feuer im Umkreis von mehreren hundert Metern mußte ausgelöscht werden. Häuser in unmittelbarer Nachbarschaft wurden überschwemmt und unbewohnbar gemacht; selbst in großem Abstand ergossen sich von den Dächern Ölströme auf die Straßen. Die Hauptstraße war stellenweise metertief von Öl bedeckt; das Öl stand gegen einen halben Meter hoch in einzelnen Häusern, deren Dächer nicht selten unter dem Gewicht des daraufgefallenen Sandes einstürzten und deren Bewohner nur durch schleunige Flucht ihr Leben retten konnten.

Ein noch verheerender wirkender Spritzer wurde 1901 in Bibi Eibat gefunden. Er begann aus großer Tiefe mit furchtbarer Wucht Öl auszuschleudern und zerstörte den Bohrturm völlig; sein Ertrag ist für die ersten Tage auf 16000 Tonnen in 24 Stunden geschätzt worden. Die Ölsäule stieg zu großer Höhe und wurde dort gänzlich ein Spiel des Windes, alle umgebenden Ländereien überschüttend und fast das gesamte Bibi-Eibat-Feld zum Einstellen der Arbeit zwingend, Meilen Landes ganz zerstörend und die Gebäude in weitem Umkreise schwärzend und schädigend. Eine der Windströmungen trieb das Öl gegen Baku und fast jedes Haus in Bailoff, einer Vorstadt von Baku, wurde geschwärzt und mit Erdöl übergossen. Ein Ölschauer fiel über das 5 km entfernte Baku selbst, und Papierstreifen, die man bei einer 8 km abliegenden Bahnstation der Luft aussetzte, benetzten sich mit Öltröpfchen. Selbst die Schiffe im Hafen wurden erreicht und die weiß angestrichenen Kanonenboote der Kaspischen Flotte durch den treibenden Ölregen geschwärzt. Obwohl die Bohrung etwa 240000 Tonnen Öl lieferte, waren die Schadenersatzansprüche so groß, daß wenig übrig blieb" (Tobler, Erdöl).

Die großen Erdölgebiete der Erde liegen fast alle in flachen Ländern, aber viele sind auch an den Rand hoher Gebirge herangeschoben. So liegen die Ölgebiete am Kaspischen Meer auf beiden Seiten des Kaukasus, diejenigen Galiziens und Mährens am Saume der Karpathen; die Appalachischen Ölfelder am Fuße der

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Brennende Petroleumquelle in Moreni (Rumänien).

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

Alleghanies, die kalifornischen grenzen an die Sierra Nevada und die hinterindischen und Sundavorkommen sehen wir ebenfalls am Rande hoher Gebirgsstöcke. Dagegen sind die Ölgebiete von Tampiko in Mexiko, von Venezuela, von Mesopotamien und in den Golfstaaten der Union Musterbeispiele für Öllagerstätten in Tafelländern.

Weitaus an der Spitze der erdölerzeugenden Länder der Erde stehen die Vereinigten Staaten, die weit mehr als die Hälfte der Weltproduktion liefern. Von Pennsylvanien bis Kalifornien und von Kanada bis zum Golf von Mexiko sind mehr oder weniger große Erdölfelder über zahlreiche Staaten der Union zerstreut. Die ungeheure Ausbeute wird allerdings auch bald zur Erschöpfung führen, und die amerikanischen Ölgeologen rechnen nur noch mit einer Lebensdauer der Haupterdölgebiete von einem Dutzend Jahren. — An zweiter und dritter Stelle stehen Mexiko und Rußland und dann folgt das heute in gewaltigem Aufschwung stehende Venezuela mit seinen riesigen Ölfeldern am Meerbusen von Maracaibo. Im übrigen ergibt sich die Jahresproduktion für 1926 aus der folgenden Zusammenstellung.

	Produktion in 1000 Barrels	In Prozenten	Stellung in der Reihenfolge 1920
1. Vereinigte Staaten . . .	766504	70,7	1
2. Mexiko	90072	8,3	2
3. Rußland	59000	5,4	3
4. Venezuela	37284	3,4	5
5. Persien	35460	3,3	5
6. Rumänien	22700	2,1	7
7. Niederländisch-Indien . .	22000	2,0	4
8. Peru	10750		9
7. Britisch-Indien	7500		6
10. Argentinien	6500		11
11. Kolumbien	5980	4,8	ohne Produktion
12. Polen	5835		8
13. Trinidad	4971		10
14. Sarawak	4350		14
15. Andere Länder	3913		
	1083819		

Diese Tabelle läßt deutlich erkennen, daß Niederländisch-Indien und Britisch-Indien in ihrem Range als Ölerzeuger gesunken, die amerikanischen Ölfelder, vor allem Venezuela, dagegen gestiegen sind. Deutschland erzeugte 1926 67000 Barrels, eine im Verhältnis zur Weltproduktion lächerlich kleine Menge, die aber doch wegen ihrer steigenden Tendenz für uns von Bedeutung ist. Die deutschen Erdölgebiete liegen in der Hauptsache in der Provinz Hannover, bei Peine, Hänigsen und Wietze, und die dortigen Ölvorkommen finden sich in Schichten der unteren Kreide und des Jura und stehen in enger Beziehung zu den dicht dabei auftretenden Salzhorsten, an die sie sich anlehnen.

„Die größte Produktion in 24 Stunden, die je durch eine Bohrung erzielt worden ist, beträgt gegen 40000 Tonnen, gegen 40 Millionen Kilogramm oder rund

40 Millionen Liter. Das ist eine Ölmenge, die zu ihrem Transport 150 Eisenbahnzüge von je 25 Wagen benötigt. Es ist nicht verwunderlich, daß solche Erträge höchstens einige Tage anzuhalten pflegen.

Die Gesamterträge einzelner Brunnen können bis auf mehrere Millionen Tonnen steigen; das sind dann allerdings ungeheure Produktionen, die der gesamten Jahresausbeute von Galizien oder Hinterindien gleichkommen.

Die gesamte in den ersten sechs Jahrzehnten der Ausbeute gewonnene Ölmenge beträgt rund 7000 Millionen Faß oder über tausend Kubikkilometer. Diese Menge würde also einen Würfel von zehn Kilometern Kantenlänge ausfüllen.

Von dieser Menge sind gegen zwei Drittel durch Nordamerika, rund ein Viertel durch Rußland geliefert worden. Alle übrigen Länder beteiligten sich nur mit einigen Prozenten oder gar nur mit Bruchteilen eines Prozentes an der bisherigen Weltproduktion. Während aber die amerikanische Produktion auf weite Gebiete verteilt ist, stammt der russische Ertrag fast ausschließlich von einem kleinen Fleck Erde auf der Halbinsel Apscheron. Von dort, von einer Fläche von 25 Quadratkilometern in der Umgebung von Baku, stammt etwa ein Viertel der bisherigen Weltausbeute" (Tobler, Erdöl).

Wo Erdöllagerstätten zutage ausstreichen, wo also das Öl mit der Luft in Berührung kommt, erfolgt eine natürliche Destillation, die flüchtigen Bestandteile des Öls entweichen gasförmig, und die minder flüchtigen bleiben als Asphalt oder als Ozokerit oder Erdwachs zurück, je nach der ursprünglichen chemischen Zusammensetzung des Öls. Beide Vorkommen gelten deshalb als Oberflächenanzeichen für das Vorkommen von Öl in der Tiefe. Bisweilen erreicht die Anhäufung beider Stoffe so große Mengen, daß sie abbauwürdig sind. Die berühmtesten solcher Vorkommen sind der Asphaltsee auf Trinidad und der ihm benachbarte auf dem venezolanischen Festlande bei Bermudez. „Der 1596 entdeckte Asphaltsee von Trinidad liegt in den ölreichen, flachwelligen Tertiärschichten im Südwesten der tropischen Insel und mißt etwa einen halben Quadratkilometer. Seine größte Tiefe ist noch nicht bestimmt, aber wahrscheinlich über 50 m. Der Asphalt ist im obersten halben Meter so fest, daß er in Blöcken ausgehauen werden kann, und daß es möglich ist, darauf zu gehen; nach der Tiefe zu wird das Pech weicher. Die beim Aushauen der Asphaltblöcke in der Seeoberfläche entstandenen Vertiefungen schließen sich infolge der Plastizität des Asphaltes in kurzer Zeit wieder; dafür sinkt dann der Seespiegel als Ganzes durch die Ausbeute langsam im Laufe der Jahre. An einigen Stellen der Asphaltfläche tritt immer noch etwas neues Erdpech aus der Tiefe, begleitet von Gasen, besonders von Schwefelwasserstoff.

Auf der anderen Seite des Golfes von Paria, auf dem Festlande von Venezuela, liegt die zweitgrößte Ölfundstelle der Erde, der Pechsee von Bermudez. Seine Oberfläche ist sogar noch bedeutend größer als die des Trinidadsees, aber seine Tiefe ist viel geringer. Während der Trinidadsee Beckenform aufweist, hat der Bermudezsee Deckenform; das aus dem Erdinnern emporsickernde Asphaltöl hat sich hier im Laufe langer Zeiträume über eine weite Alluvialebene ergossen (Tobler, Erdöl).

In die Reihe der Asphaltvorkommen gehören auch die Asphaltkalke, in denen absorbierte Erdöle durch Oxydation in Asphalt übergeführt sind. Sie finden technisch eine ausgedehnte Verwendung im Straßenbau. In Deutschland haben wir Vorkommen bei Hannover (Limmer und Vorwohle), in der Schweiz im Jura im Val de Travers. Auch Sizilien liefert große Mengen hochwertigen Asphaltkalkes.

5. Erdgas.

Fast immer sind mit dem Erdöl Erdgase verknüpft, die größtenteils aus Methan bestehen, also brennbar sind, und daneben noch Schwefelwasserstoff, Kohlensäure und Stickstoff enthalten. Wo sie nach der Erdoberfläche hin entweichen können, strömen sie aus und können, in Brand gesetzt, unter Umständen Jahrtausende brennen, wie die erst vor 30—40 Jahren durch menschlichen Eingriff vernichteten „Ewigen Feuer" von Baku oder wie die Feuer der Chimära an der Südküste von Kleinasien; beide durch Jahrtausende hochverehrte Kultusstätten. Das Auftreten von Erdgas ist mit dem des Erdöls innig verbunden und gehört zu den kennzeichnenden Erscheinungen aller Erdöllagerstätten. Besonders auffällig wirkt es, wenn es unter Wasser aufsteigt und dies dann trotz seiner niedrigen Temperatur den Eindruck des Kochens erweckt. Aus dem Grunde des Kaspischen Meeres bei Baku steigen gewaltige Gasmengen auf, die zum Vergnügen der Reisenden vom Schiff aus entzündet werden, worauf Hunderte von Quadratmetern der Wasserfläche in ihrer ganzen Ausdehnung in Brand geraten. Dann wird der Dampfer drehend über die brennende Fläche hinwegbewegt und das Feuer dadurch wie mit einem großen Schwamme ausgelöscht. Eine im tropischen Urwald von Südsumatra auftretende Quelle beschreibt Tobler: „Das Wasser erhielt durch die aufsprudelnden Gase einen prickelnden Beigeschmack. Die großen Tiere des Waldes Elefanten, Nashörner, Tapire und Hirsche trinken solches Wasser mit Vorliebe und kehren immer wieder zu diesen Labestellen zurück. Kilometerweit führen ausgetretene Elefantenfußpfade zu den Gasbrunnen; je näher denselben, um so mehr Pfade schalten sich ein, bis in der nächsten Nähe ein dickes Netzwerk von 1—2 m tiefen Hohlwegen entstanden ist."

Die Menge des ausströmenden Gases ist ungemein schwankend und die Dauer des Ausströmens bald kurz, bald Jahrhunderte oder Jahrtausende umfassend. So ist die bereits erwähnte Brandgasquelle der Chimära, die schon Ktesias 400 Jahre vor Christi als „Ewiges Feuer" beschreibt, im vorigen Jahrhundert von Tietze brennend wieder aufgefunden worden, hat also vielleicht drei Jahrtausende hindurch ununterbrochen gebrannt; auch die den Parsen heiligen Feuer von Baku scheinen fast ein Jahrtausend gebrannt zu haben. Alle diese natürlichen Gasaustritte stammen aus den mit Erdöllagerstätten verbundenen, großen, unterirdischen Vorkommen und sind auf Klüften, Spalten und Rissen im Gestein an die Oberfläche gelangt. Kein Wunder daher, wenn nach der Entwicklung der Erdölgewinnung durch Bohrungen an noch viel zahlreicheren Stellen der Erde diese Gasreichtümer erschlossen wurden, selbst in Gebieten, in welchen Erdöl bis dahin nicht bekannt war. So hat die Gasbohrung von Neuengamme bei Hamburg mit ihren aus marinem Ton des Tertiärs stammenden, ungeheuren Gasmengen jahrelang zur Beleuchtung

der Stadt Hamburg beigetragen, so sind in zahlreichen Gebieten der Vereinigten Staaten bei den Erdölbohrungen gewaltige Gasmengen angetroffen worden, die zur Heizung von Fabriken und zur Beleuchtung ganzer Städte dienten.

Trockenes Erdgas tritt da auf, wo der von ihm durchwanderte Weg aus festen oder wasserfreien Gesteinen besteht. Bricht das Gas dagegen durch wasserführende, tonige oder mergelige Gesteine hindurch, so wird durch die Wirkung des Gases ein Gesteinsbrei erzeugt, den das aufsteigende Gas mit nach der Oberfläche führt und als Schlamm an der Mündung auswirft. Auf diese Weise entstehen allmählich je nach dem Flüssigkeitsgrade des Schlammbreies flache oder steile Kegel, die wegen ihrer Ähnlichkeit mit echten Vulkanen als „Schlammvulkane" bezeichnet werden und

Abb. 201. Schlammvulkan Bulganak (Kertsch). — Nach A. Pawlow.

ebenfalls zu den bezeichnenden Erscheinungen vieler Erdölgebiete gehören. Wir kennen sie von der Krim, vom Gestade des Kaspischen Meeres, aus Rumänien und Birma, von den Sundainseln und von Trinidad, von Kolumbien und aus den Golfstaaten der Union. Die Höhe der Schlammkegel, die auf ihrer Spitze einen richtigen Krater tragen, schwankt zwischen einigen Metern und 300 Metern, die der Boos Dagh auf der Halbinsel Apscheron erreicht. Ihr Kraterdurchmesser, der meist nur einige Dezimeter beträgt, kann bis zu 100 m steigen. Der Schlammstrom, der aus diesen Kratern austritt, fließt am Abhange des Kraters herunter und breitet sich dann in der Umgebung aus, in der er quadratkilometergroße, ebene oder flach geneigte Flächen bilden kann, die nach dem Austrocknen mit einem gleichmäßigen Netz von Trockenrissen überzogen sind. Diese sogenannten Schlammvulkane haben natürlich mit dem eigentlichen Vulkanismus nichts zu tun, und die Wärme der ausgeworfenen Schlammassen zeigt die gewöhnliche Bodentemperatur. Selbst wenn die austretenden Gase in Brand geraten, nimmt der Schlammausfluß keine erhöhte Wärme an. Dagegen gewähren diese brennenden Schlammvulkane ein außerordentlich eindrucksvolles Schauspiel, soll doch die Feuersäule des Lok Bota bei

Baku 1887 eine Höhe von 6000 m erreicht haben. Selbst kleine, allerdings recht vergängliche Inseln im Meere können durch solche Ausbrüche entstehen, wie das an der Westküste in Birma bis in allerjüngste Zeit beobachtet ist.

d) Die Salze und ihre Gewinnung.

Infolge seiner Löslichkeit tritt das Steinsalz nur an wenigen, regenarmen Stellen der Erde an die Oberfläche und verrät seine Anwesenheit in der Tiefe nur durch das Auftreten von Solquellen. Diese und der unerschöpfliche Salzvorrat des Meeres und zahlreicher salzreicher Binnenseen waren die ursprünglichsten und ältesten Quellen der Salzgewinnung zu Speisezwecken und um den Besitz vieler Solquellen mögen sich in grauer Vorzeit ebenso erbitterte Kämpfe abgespielt haben wie heute um die Gold- und Ölländer der Erde. Noch heute werden dem Meere große Mengen von Salz zu gewerblichen und Kochzwecken entzogen (vgl. Band I, S. 86 und 87), aber nur in warmen Ländern, z. B. in Sizilien und Südspanien. An geeigneten Flachküsten schafft man künstlich eingedämmte Becken oder benutzt ausgedehnte, flache, natürliche Senken, Lagunen, die durch Schleusen mit dem Meere in Verbindung stehen, mit Meerwasser gefüllt werden und nun unter dem verdunstenden Einflusse der Sonnenwärme allmählich konzentriert werden. Der durch Verdunstung entstehende Verlust wird immer wieder aus dem Meere ergänzt; der zunächst nur wenig über 3% betragende Salzgehalt reichert sich allmählich an, das Wasser wird schließlich zu einer konzentrierten Salzlösung mit 25% Salzgehalt und bei weiterem Fortgange der Verdunstung beginnt das überschüssige Salz auszukristallieren. Da das Meereswasser neben dem Chlornatrium noch eine Menge anderer Stoffe gelöst enthält, so erfolgt die Ausscheidung in der umgekehrten Reihenfolge der Löslichkeit, so daß sich von den Hauptsalzen zuerst der Gips und dann das Kochsalz abscheidet, während die Magnesia- und Kalisalze, sowie die Brom- und Jodverbindungen in der Mutterlauge, d. h. dem Reste der Flüssigkeit zurückbleiben. Für gewerbliche Zwecke, z. B. das Einsalzen von Fischen, kann das rohe Salz benutzt werden, für Speisezwecke ist es zu bitter und wird von den dies veranlassenden Magnesiumsalzen meist durch Umkristallisieren gereinigt. Im Binnenlande waren die Urmenschen auf die Salzquellen angewiesen, aus denen sie durch Einkochen Salz gewannen. Auch heute noch sind die natürlichen Solquellen die Lieferanten unseres Speisesalzes. Da es zu kostspielig sein würde, die meist salzarmen Solen von Anfang an einzudampfen, so läßt man sie in feinster Verteilung über ein sogenanntes Gradierwerk ablaufen (Abb. 202). Dieses besteht aus einer gewaltigen, oft kilometerlangen, 15—20 m hohen und breiten Packung von dichtgelagerten, sperrigen Sträuchern; die hochgepumpte Salzsole wird über die Oberfläche des Gradierwerkes verteilt, rieselt langsam an den zahllosen Zweigen nieder, konzentriert sich dabei durch natürliche Verdunstung und scheidet gleichzeitig ihren Gipsgehalt aus, der sich in anfangs dünnen, später immer stärker werdenden Rinden um alle Zweige des Buschwerkes niederschlägt, bis dieses schließlich in eine nahezu kompakte Gipsmasse umgewandelt ist, worauf die Anlage erneuert werden muß. Durch mehrmalige Wiederholung der Überrieselung wird die Sole schließlich immer mehr angereichert an Kochsalz, bis dieses sich ebenfalls in dem Gradierwerke absetzt. Während die Gipsrinden

von schmutzig-grauer Farbe sind, ist das abgeschiedene Kochsalz rein weiß und zeigt an, daß die Salzlake für die Sudpfanne reif ist. Sie wird nun in große, flache, eiserne Pfannen geleitet und hier solange erwärmt, bis alles Kochsalz ausgeschieden ist. Die dann übrige Lösung kann noch auf Brom verarbeitet werden.

Deutschland ist sehr reich an Salinen, wenngleich der Hauptzweck derselben heute nicht mehr in der Salzgewinnung, sondern in der hygienischen Einwirkung auf die Kranken der Solbäder besteht (Inhalationskuren). Die Salzgewinnung erfolgt bei uns jetzt billiger aus den natürlichen Steinsalzlagern durch Bergbau; solcher Salzbergbau ist aber nicht ein Kind unserer modernen Technik; schon in

Abb. 202. Gradierwerk.

vorhistorischer Zeit, vielleicht schon 1000—2000 Jahre vor unserer Zeitrechnung, als das Speisesalz für die damalige Bevölkerung einen ebenso hohen Wert besaß wie das Gold für die heutige, ging der Mensch den natürlichen Solquellen in der Erde nach und errichtete im Salzkammergute das älteste Salzbergwerk, dessen Reste mit allen Gezähen und Förderanlagen, sowie mit Leichen verschütteter, alter Bergleute der mittelalterliche Salzbergbau bei Hallein wieder aufgedeckt hat.

Wie sind die Lager von Steinsalz und den übrigen Salzen entstanden? Daß sie größtenteils aus dem Meere stammen, ist sicher, aber wie tief mußte ein Meer sein, um 5—600 m mächtige Salzlager zu erzeugen? Bei Annahme des heutigen Salzgehaltes unserer Ozeane müßte ein Meer von 30 km Tiefe verdampfen, um ein Salzlager gleich dem unserer deutschen Zechsteinformation zu liefern. Das ist natürlich ausgeschlossen, und wir müssen nach einer anderen Lösung der Frage

suchen; wir finden sie, wenn wir uns an das östliche Gestade des Kaspischen Meeres begeben. Dieses große Binnenmeer ist durch eine enge, von Felsen eingeschlossene Straße mit einer ausgedehnten Bucht, dem Karabugas, verbunden, die ohne Zufluß in regenloser Wüste gelegen, der vollen, sengenden Glut der Sonne ausgesetzt ist und deshalb fortwährend gewaltige Wassermassen durch Verdunstung verliert. Als Ersatz dafür strömt durch die Meerenge ununterbrochen ein reißender Strom normal gesalzenen Wassers in das Becken hinein, massenhaft Fische mit fortreißend, die in der Salzlake des Busens alsbald verenden und deren gepökelte, ans Land geworfene Leichen alsbald von der Sonne gedörrt werden. Im Busen selbst aber ist längst der Sättigungspunkt des Wassers überschritten, und gewaltige Mengen von Gips und Kochsalz werden dauernd in rhythmischem Wechsel ausgeschieden. In ähnlicher Weise müssen wir uns die gewaltigen Salzlager der Zechsteinzeit entstanden denken, nur daß das vom Ozean abgeschnittene, mit ihm nur durch einige flache Pforten verbundene Binnenmeer sehr viel größer und tiefer war. Es reichte von Holland bis Polen und von der Nordsee bis Nordbayern, und der zugehörige offene Ozean muß im Norden gelegen haben. Die Umgebung war regenarmes Wüstenland, und in dieser riesigen, natürlichen Sudpfanne erfolgte jahrtausendelang zuerst der Konzentrationsprozeß und dann vielleicht ebensolange die Ausscheidung der Salze, deren reinste und vollständigste Folge zuerst im Innern des Beckens, in der Gegend von Staßfurt aufgeschlossen wurde. Der Vorgang der Salzabscheidung war im allgemeinen folgender: Es fanden zunächst rhythmisch sich wiederholende Abscheidungen von Steinsalz und Anhydrit (wasserfreier Gips) statt, die das rund 400 m mächtige, sogenannte ältere Steinsalzlager (vgl. Abb. 137, Bd. I, S. 178) erzeugten. Als der allergrößte Teil des Chlornatriums ausgefällt war, begann das schwefelsaure Kalzium sich als ein mächtiges Lager von Anhydrit abzuscheiden, und dann erfolgte das Auskristallisieren der am leichtesten löslichen Salze aus der durch Verdampfung immer mehr eingeengten Mutterlauge; es gelangten jetzt die an Chlor und Schwefelsäure gebundenen Salze des Kaliums und Magnesiums zusammen mit Resten immer noch vorhandener Kalk- und Natronverbindungen als Kieserit, Polyhalit, Carnallit, Kainit, Bischoffit, Sylvinit u. a. zur Ausscheidung, wobei auch die in geringeren Mengen vorhandenen selteneren Stoffe, wie Bor und Brom, mit ausgeschieden wurden. Als die letzten Laugen verdampft waren und eine Salzwüste die Stelle des Zechsteinmeeres einnahm, wurden durch die Wüstenwinde große Mengen grauen Staubes herbeigetragen und über die Salzlager gelegt, so daß diese unter dem grauen Salztone wie unter einer wasserdichten Decke geschützt ruhten. Dann muß eine kräftige Senkung des Gebietes eingetreten sein, in deren Folge sich wiederum eine Meeresüberflutung, wenn auch geringeren Umfanges, einstellte. Es wiederholte sich das vorige Spiel, wobei zuerst das jüngere Steinsalzlager, dann ein jüngeres Anhydritlager und schließlich abermals eine Folge von Kali- und Magnesia- (Mutterlaugen-) Salzen abgeschieden wurde. Über das ganze, bis 600 m Mächtigkeit erlangende Salzlager wurde dann die zunächst tonige, hierauf sandige, viele 100 m mächtige Decke des Buntsandsteins ausgebreitet.

Die bergbauliche Erschließung der Staßfurter Salzlager galt dem Steinsalz, die dabei gefundenen, übelschmeckenden anderen Salze galten als lästiger Abraum und wurden deshalb als Abraumsalze stehengelassen oder, wo sie mit gefördert

werden mußten, auf die Halden gestürzt. Bald aber sollte sich das Blatt wenden: Die Erkennung des Kalireichtums dieser Salze und die gleichzeitige Entdeckung der Bedeutung des Kalis für die Ernährung und Ertragssteigerung unserer

Abb. 203. Salzglocke in Schönebeck.

Kulturpflanzen machte die Kalisalze zu einer stark begehrten Handelsware, deren Markt sich infolge der bis zum Verluste des Elsaß dauernden Monopolstellung Deutschlands bald über den ganzen ackerbautreibenden Teil des Erdballs verbreitete, womit die Entstehung einer riesigen chemischen Industrie Hand in Hand ging.

Die Steinsalzlager liegen selten in weniger als 100 m Tiefe, die Kalisalzlager beginnen sogar meist erst in 3—400 m Tiefe; beide müssen deshalb durch Bergbau gewonnen werden. Dieser Bergbau gilt heute in der Hauptsache den Kalisalzen, die nun nicht mehr Abraum-, sondern Edelsalze heißen, und der Steinsalzbergbau spielt nur noch eine Nebenrolle. Die im Abbau befindlichen Kalisalzlager sind fast immer mehr oder weniger aufgerichtet, wie es das Querprofil durch den Staßfurter Sattel zeigt. Vom Förderschachte aus, der im älteren Steinsalze endigt, gehen Strecken rechtwinklig auf das Kalilager zu und nach Erreichung desselben wieder rechtwinklig im Streichen des letzteren, und zwar in einer Anzahl übereinanderliegender Sohlen. Von diesen aus wird die bis 40 m Mächtigkeit erlangende Lagerstätte der Edelsalze von unten nach oben abgebaut und die entstandenen Hohlräume werden zur Verhütung des Zusammenbrechens wieder mit Steinsalz verfüllt. Letzteres wird im Innern des gewaltigen Körpers des älteren Salzes gewonnen, wobei ausgedehnte, prachtvolle, schimmernde Hallen entstehen, die infolge der außerordentlichen Tragfähigkeit des reinen Steinsalzes bis 80 m Länge, 20 m Höhe und 40 m Breite haben können. Sie bedürfen keiner stützenden Träger und gewähren bei elektrischer Beleuchtung mit ihren riesigen Ausmaßen, mit ihren glänzenden, weißen Salzwänden, in denen dunklere Anhydritstreifen die Lagerung anzeigen, einen überwältigenden Anblick.

Das ältere Steinsalz kann nicht sogleich zu Kochsalz vermahlen werden, sondern muß erst durch Umkristallisieren von Anhydrit befreit werden; dagegen ist das jüngere Steinsalz viel reiner und kann, soweit es nicht rötlich gefärbt ist, ohne weiteres als Speisesalz dienen. Die Kalisalze werden entweder als Rohsalze in gemahlenem Zustande verwendet und nach dem Prozentgehalt an Kali bezahlt, oder sie werden in riesigen Fabriken durch eine bis ins Feinste entwickelte chemische Industrie zu zahllosen Produkten, vom Düngesalze bis zum medizinischen Brompräparate, weiterverarbeitet.

Eine andere Art der Speisesalzgewinnung besteht darin, daß in weite, im älteren Salze endigende Bohrlöcher Süßwasser eingepumpt wird, welches um das Bohrloch herum einen sich allmählich immer mehr vergrößernden Hohlraum auslaugt, aus welchem es nach erfolgter Sättigung wieder ausgepumpt und dann durch Erhitzung konzentriert wird, wobei ein recht reines Kochsalz zurückbleibt, während die Anhydriteinlagerungen auf dem Boden der entstandenen Hohlräume sich ablagern. Durch diesen Auslaugungsprozeß entstehen im Innern des älteren Steinsalzkörpers eigentümliche, glockenförmige Hohlräume, wie deren einen die Abb. 203 aus dem Moltkeschachte bei Schönebeck a. Elbe zeigt.

e) Sonstige nutzbare Lagerstätten.

Außer den Metallen und Erzen, den Salzen und brennbaren Fossilien finden sich in der Natur noch eine sehr große Menge von Mineralien, Erden und besonderen Vorkommen, die zum Teil bereits im I. Teil, im mineralogischen Abschnitt, auch hinsichtlich ihrer Gewinnung und Verwendung im Haushalt des Menschen eine Besprechung gefunden haben, wie z. B. der Diamant und die wichtigsten übrigen Edelsteine. Bei der sehr hohen Zahl dieser technisch nutzbaren Vorkommen ist in diesem Werke eine Beschränkung auf die wichtigsten derselben erforderlich. Wir

werden bei ihrer Besprechung die alphabetische Reihenfolge einhalten. Bei der Abfassung dieses Abschnittes hat das schöne Werk von Br. Dammer und O. Tietze, Die nutzbaren Mineralien (Stuttgart, Verl. Enke, 1927) wertvolle Dienste geleistet.

1. Arsen. Als natürliche Arsenmineralien kommen in Frage: Realgar, (einfach Schwefelarsen,) Auripigment, ($1^1/_2$faches Schwefelarsen,) gediegen Arsen, Arsenkies und Arsenikalkies. Die beiden letzteren kann man auffassen als Schwefelkies, in dem ein Molekül Schwefel im Arsenkies, beide Moleküle Schwefel im Arsenikalkies durch Arsen ersetzt sind. Die beiden ersten, lebhaft rot und gelb gefärbten Mineralien treten als Ausfüllung meist schmaler Gänge und Klüfte in Kalksteinen, Tonen und Sandsteinen meist jüngeren Alters in Mazedonien, Bosnien, Albanien und Ungarn in Europa, in China, Persien, Kurdistan in Asien auf. Ihre Gewinnung erfolgt zur Verarbeitung zu Farbstoffen, zur Verwendung als Enthaarungsmittel in der Gerberei, zur Herstellung von Weißfeuer der Feuerwerkerei und zur Entfärbung der flüssigen Glasmasse in der Glasproduktion.

Die letzgenannten drei Arsenmineralien treten meist als Begleiter anderer Erze auf Erzgängen und Erzlagern, sowie auf Kontaktlagerstätten auf. Die wichtigsten Produktionsländer sind Deutschland (Reichenstein und Altenberg in Schlesien), die Vereinigten Staaten, Kanada, England, Mexiko und Japan.

Die Arsenerze dienen zur Erzeugung von gediegen Arsen und arseniger Säure, die als Tiergift zur Vernichtung von Ratten und Mäusen, in der Farben- und Glasindustrie und beim Präparieren von Tierbälgen als Schutz gegen Parasiten Verwendung finden.

2. Asbest. Die Asbeste sind entweder wasserfreie Kalk-Magnesiumsilikate (Hornblendeasbest) oder wasserhaltige Magnesiumsilikate (Chrysotilasbest) und besitzen als wichtigste und technisch wertvollste Eigenschaft eine faserige Struktur. Das Muttergestein des Asbest ist meist Serpentin, ein außerordentlich basisches, stark umgewandeltes Eruptivgestein, in welchem der Asbest als Ausfüllung zahlreicher, meist sehr unregelmäßiger Spalten aufzutreten pflegt. Die wichtigsten Vorkommen liegen in Kanada, Italien, Rußland, Sibirien und auf Zypern. In Kanada haben die asbestführenden Serpentinvorkommen in der Provinz Quebec eine Länge von 150 km und treten hier in uralten, präkambrischen Gesteinen auf, während die meisten sonstigen Vorkommen an alttertiäre Eruptivgesteine geknüpft sind. Auch die Vereinigten Staaten, Südrhodesien und Australien verfügen über nennenswerte Vorkommen.

Die Gewinnung des Asbest erfolgt fast ausschließlich im Tagebau und das dabei gewonnene Rohmaterial bedarf noch umständlicher Prozesse zur Reinigung von anhängendem Muttergestein und zur Sonderung nach der Faserlänge. Die große Verwendbarkeit des Asbest beruht auf seiner Faserstruktur und seiner bis zur Verspinnbarkeit gehenden Biegsamkeit, auf dem hohen Grade der Feuerbeständigkeit, auf der Unangreifbarkeit durch Säuren und auf dem geringen Leitvermögen gegenüber der Wärme und Elektrizität. Er wird verarbeitet zu Platten, Tüchern, Handschuhen und Kleidern, zu Filtern in chemischen Laboratorien und bei der Weingärung, zur Isolierung in der elektrischen Industrie, als Wärmeschutzmittel für Dampfkessel und -leitungen, zu Dichtungen und Packungen bei Rohrleitungen und für die Herstellung von Tapeten, Pappen, Platten und ganzen Bausteinen als

feuersicherer Baustoff, sowie zu vielen anderen ähnlichen Zwecken in einer Reihe künstlich hergestellter Mischungen. — Deutschland besitzt keine bauwürdigen Asbestlager, ist aber der bedeutendste Verarbeiter von Asbest und das wichtigste Ein- und Ausfuhrland für Asbeststoffe.

3. Bauxit. Der Bauxit ist ein Aluminiumhydroxyd mit $^1/_2$—3 Teilen Wasser, meist gemengt und verunreinigt mit Brauneisen, Kaolin und Quarz. Die Farbe wechselt zwischen weiß, grau, braun und rot. Der in derben Massen vorkommende Bauxit ist entweder der Verwitterungsrückstand toniger Kalke, entstanden unter von den heutigen völlig abweichenden klimatischen Verhältnissen, oder er ist ein an ein mäßig feuchtes, tropisches Klima gebundenes, dem Laterit der heutigen Tropen entsprechendes Umwandlungsprodukt aluminiumhaltiger Eruptivgesteine, wie Granit, Basalt, Diabas und Syenit. Er liegt entweder auf der Oberfläche dieser Gesteine oder er füllt von oben in das Gestein eingreifende, gangartige Hohlräume. — In Deutschland findet sich bauwürdiger Bauxit nur auf dem Basalt des Vogelsberges. Im übrigen Europa kennen wir die wichtigsten Vorkommnisse aus Ungarn, Siebenbürgen, auf der Balkanhalbinsel, in Italien, Südfrankreich und Rußland. Auch in Indien sind zahlreiche Lager bekannt. Die wichtigsten Erzeuger aber sind die Vereinigten Staaten mit den Staaten Arkansas, Georgien, Alabama und Tennessee. — Überall wird der Bauxit im Tagebau gewonnen. — Seine Hauptverwendung findet er bei der Aluminiumdarstellung, sowie in der Herstellung von Tonerdesulfat und Alaun, zu Schlämmitteln und zur Herstellung hochfeuerfester Steine für die sogenannte feuerfeste Industrie. — Um die Bedeutung des Bauxits für die Industrie zu würdigen, sei hier angeführt, daß die Erzeugung 1924 $1^1/_3$ Millionen metrische Tonnen betrug, von denen auf Frankreich 405000, die Vereinigten Staaten 316000, Britisch-Guyana 200000 und Jugoslavien 198000 Tonnen entfielen.

Zu den der Aluminiumfabrikation dienenden Mineralien gehört auch der **Kryolit,** ein Natrium-Aluminiumfluorid, welches nur bei Ivigtut an der Westküste Grönlands als stockförmige Masse im Innern eines Granitmassivs in bauwürdiger Menge vorkommt, die im Tagebau ausgebeutet wird. Heute ist der Kryolit aus der Aluminiumfabrikation verdrängt, findet aber in derjenigen von Milchglas, Emaille und Portlandzement eine ausgedehnte Verwendung.

4. Bernstein. Der Bernstein ist das fossile Harz einer alttertiären Kiefer, die nach den gleichzeitig lebenden Pflanzen zu schließen, in einem dem heutigen nordafrikanischen gleichenden Klima lebte. Die Bernsteinkiefer muß auf dem eozänen Festlande ausgedehnte Wälder gebildet und eine überaus große Neigung zum Harzflusse, vielleicht infolge häufiger Verletzungen durch tierische und pflanzliche Parasiten, besessen haben. Die Unverwüstlichkeit dieses Harzes bedingte die Ansammlung gewaltiger Massen davon auf dem Boden des riesigen Kiefernwaldes, der wohl Hunderte von Quadratmeilen überkleidete. Die hier angesammelten Massen wurden bei dem nächsten Einbruch des Meeres im Unteroligozän fortgeführt, umgelagert und in einem tonig-sandigen, Glaukonit führenden Meeressediment, der berühmten „Blauen Erde" des Samlandes, wieder abgelagert. Dies ist die älteste uns bekannte Lagerstätte des Bernsteins. Von hier aus ist er bei der teilweisen Zerstörung dieser Schichtenfolge in jüngere Tertiärschichten verschleppt worden und schließlich während der Eiszeit durch die mehrmalige Invasion des

Inlandeises in ungeheurem Umfange aus seiner ursprünglichen Lagerstätte herausgeräumt und so weit forttransportiert worden, wie das Inlandeis reichte, ja durch die Schmelzwasser noch über die Eisgrenze hinaus, so daß der Bernstein heute von Rußland bis in die Niederlande und von Schweden und Dänemark bis zu den Karpathen und den mitteldeutschen Gebirgen eigentlich überall vorkommt. Das schöne, prachtvoll polierfähige Material wird in großen Mengen teils im Bergbau bei Palmnicken, teils durch Dretschen im samländischen Küstengebiet, teils durch Auslesen am Strande nach Stürmen, teils auch durch Graben an allen möglichen sekundären Lagerstätten gewonnen und je nach seiner Beschaffenheit den verschiedensten Verwendungen, meist dekorativer Natur oder des Luxusbedarfs, zum Teil auch der chemischen Industrie, zugeführt. Die größten Stücke, die man bisher gefunden hat, erreichten ein Gewicht von fast 10 kg. Rauchbedarfsartikel, Perlen, Nippes und Schmucksachen in Verbindung mit Edelmetallen sind die Haupterzeugnisse der Bernsteinindustrie. — Für die zoologische Wissenschaft ist der Bernstein von ganz besonderer Bedeutung durch die gewaltige Menge prachtvoll erhaltener Tierreste, meist Insekten, die in ihm eingeschlossen sind und uns eine großartige Vorstellung von dem Reichtum des Tierlebens der Eozänzeit überliefert haben.

5. Bormineralien. Borax, ein wasserhaltiges Natriumsalz der Borsäure und letztere selbst kommen in der Natur teils als solche vor, teils aber werden sie aus einigen Mineralien gewonnen, von denen der Colemanit, ein wasserhaltiges Kalkborat, der Ulexit, ein Kalk-Natronborat und der Borazit, eine Verbindung von Chlormagnesium mit Magnesiumborat, die wichtigsten sind. Der natürliche Borax oder Tinkal findet sich in den Schlammvulkanen der Halbinsel Kertsch und Taman, in Seen und Salzsteppen Tibets und Persiens und in den ausgetrockneten Becken in den pazifischen Staaten der Union. Die natürliche Borsäure, der Sassolin, findet sich in einer Anzahl vulkanischer Quellen in Toskana, im Kaukasus, in Kalifornien und Nevada. In Toskana führen die sogenannten Soffioni bei Massa Maritima, heiße Wasserdampfquellen, eine geringe Menge Borsäure, die in mühevoller Arbeit aus dem sich bildenden Schlamm gewonnen wird. Der Colemanit oder Pandermit findet sich in jungen Beckenbildungen in Gipsen, Kalken oder Tonen eingeschlossen in großen oder kleinen Knollen oder zusammenhängenden Lagern bei Panderma in Kleinasien, vor allem aber in Kalifornien und Nevada. Der Ulexit hat seine Hauptverbreitung in Becken der Hoch-Kordillere der südamerikanischen Staaten, und der Borazit endlich ist ein Begleitmineral der Kalisalze der Staßfurter Salzlagerstätte, in der er in Knollen auftritt. Alle diese Borvorkommen bedürfen, um Nutzware zu liefern, eines umständlichen, teils auf Auslaugung, teils auf chemischer Umsetzung beruhenden Anreicherungsprozesses. Die gewonnenen Produkte kommen teils als Borsäure, teils als Borax in den Handel und finden Verwendung als Fluß- und Lösungsmittel in der Metallindustrie, der Glasproduktion, in der Tonwaren- und Emailleindustrie, in der Färberei, Stoffdruckerei, Gerberei, Appretur, in der Farbenindustrie und schließlich in der Medizin zur aseptischen Wundbehandlung. — Die Hauptproduktionsländer sind die Vereinigten Staaten, Chile und Kleinasien.

6. Eisenocker. Zur Herstellung roter Mineralfarben finden teils natürliche Roteisensteine Verwendung, die gebrannt (kalziniert) und dann gemahlen werden,

teils aber auch lockere, erdige Oxydationsprodukte von Eisenverbindungen, die teils aus Rot-, teils aus Brauneisenstein bestehen. Sie werden meist durch Schlämmen von unerwünschten Beimengungen befreit, getrocknet und gemahlen und finden zur Herstellung von Wasserfarben, sowie zur Vermischung mit anderen Erdfarben zwecks Erzielung bestimmter Farbentöne Verwendung. Viel gebraucht werden sie in der Tapetenindustrie. Die natürlichen Vorkommen haben meist nur geringe Ausdehnung und finden sich an zahlreichen Orten und in alten und jungen Formationen bis in das Diluvium und Alluvium hinein.

7. Feldspat. Der monokline Kalifeldspat, ein Kalium-Aluminiumsilikat, findet sich als Hauptbestandteil in zahlreichen Eruptivgesteinen, wie Granit, Gneis, Granulit, aber im allgemeinen nur in kleinen Kristallen. Nur in den sogenannten Pegmatiten oder Riesengraniten, die als Gänge die normalen Gesteine durchsetzen und von den letzten Restmagmen der entstehenden Eruptivgesteine erfüllt werden, nehmen die Feldspate ebenso wie die übrigen Mineralien solche Ausmaße an, daß sie in großen Mengen gewonnen werden können. Solche Pegmatite finden wir im Erzgebirge, Fichtelgebirge, Riesengebirge und Odenwald in Deutschland. Die größte Menge liefert aber in Europa Skandinavien. Der Feldspat findet seine Hauptverwendung in der Porzellanindustrie als Zusatz zum Kaolin zwecks Herabsetzung des Schmelzpunktes und Erhöhung der Durchscheinbarkeit. Auch bei der Glasur des Porzellans spielt er eine wichtige Rolle. Einige schön gefärbte Varietäten des Feldspats, wie der grüne Amazonenstein Sibiriens und der schillernde Mondstein von Ceylon finden als Schmuckstein Verwendung. Das gleiche gilt für einige Varietäten der triklinen Kalk- und Natronfeldspate (Plagioklas). Er kommt vor als Sonnenstein in Sibirien und Norwegen, als Labrador auf der Paulsinsel an der Küste von Labrador, bei Zarskoje-Sselo und Kiew in Rußland und bei Ujamo in Finnland.

8. Flußspat. Der Flußspat, reines Fluorkalzium, selten farblos, meist durch Beimengungen in allen möglichen Farben auftretend, ist ein typisches Gangmineral, welches die Gänge aber niemals für sich allein ausfüllt, sondern immer mit Quarz oder Schwerspat und mit Erzen der Blei-Zinkgruppe aufzutreten pflegt. An der Nab, in der Oberpfalz, im Schwarzwald, im Südharz und Thüringer Wald liegen die Hauptfundpunkte in Deutschland. Außerhalb Deutschlands finden sich Vorkommen in zahlreichen anderen Ländern Europas und der übrigen Erdteile, besonders viele wieder in Nordamerika. Die Hauptmenge des geförderten Flußspats findet als Flußmittel in der Hütten- und Glasindustrie Verwendung. Einen Teil verbraucht die chemische Industrie zur Herstellung von Fluorwasserstoff und von Fluorverbindungen. Ein dritter Teil findet in der optischen Industrie für Prismen und Linsen Verwendung (die wasserklaren Flußspate) und die ganz großstückigen, farbenprächtigen Vorkommen werden schließlich zu allerlei Schmuckgegenständen verarbeitet.

9. Gips. Das schwefelsaure Salz der Kalkerde findet sich in zwei Formen, einmal als wasserhaltiger Gips, dann als wasserfreier Anhydrit. Gerade bei den größten Vorkommen von Gips darf man annehmen, daß das ursprüngliche Mineral Anhydrit war, welches sich durch Wasseraufnahme erst später in Gips umgewandelt hat. Das Vorkommen der Gipse zusammen mit anderen Salzen spricht für ihre

Entstehung in ausgetrockneten Meeresbecken. In Deutschland finden sich die weitaus meisten und technisch bedeutungsvollsten Vorkommen in der Zechstein- und Triasformation und gerade in dem an älteren Gesteinen so armen norddeutschen Flachlande treten an einer ganzen Anzahl von Stellen, bei Lüneburg, Segeberg und Lübtheen, bei Erin, Wapno und Hohensalza, Gipsstöcke über in der Tiefe folgenden Salzlagern an die Erdoberfläche. Aus der Tertiärformation sind die bekanntesten Gipsvorkommen die des Pariser Beckens, während von den bedeutenden Gipsmassen in älteren Formationen hier der devonische Gips der baltischen Randstaaten und der karbonische von Spitzbergen genannt seien. Auch in der Neuen Welt finden sich gewaltige Gipsvorkommen in Neubraunschweig und in zahlreichen Staaten der Union. Der weiße, feinkörnige Gips wird als Alabaster, der faserige als fester Gips, der grobspätige als Frauen- oder Marienglas, der erdige als Schaumgips bezeichnet. — Die Verwendung des Gipses erstreckt sich auf drei verschiedene Gebiete. In der Kunst findet der weiße oder farbige Alabaster Verwendung für Bildhauerarbeiten und ornamentale Ausschmückung von Gebäuden; in der Landwirtschaft wird der Gips in gemahlenem Zustande als Düngemittel gebraucht und im Bauwesen schließlich wird er entweder direkt als Bruchbaustein verwendet (Lüneburg) oder in gebranntem und gemahlenem Zustande als Stuck- oder Estrichgips. Hat der Gips nur die Hälfte seines Kristallwassers beim Brennen abgegeben, so dient er als Stuckgips zur Herstellung von Abgüssen und zum Modellieren, ist alles Wasser beim Brennen herausgetrieben, dient er lediglich als Mörtel. Diese Art der Verwendung ist schon 7000 Jahre alt, denn schon die Cheopspyramide ist mit einem zu $^4/_5$ aus gebranntem Gips bestehenden Mörtel erbaut worden.

10. Glimmer, ein ausgezeichnet spaltbares Mineral, welches in zahlreichen chemischen Zusammensetzungen ganz verschiedener Art auftritt, bildet einen wesentlichen Bestandteil der meisten Eruptivgesteine, Gneise und Glimmerschiefer, findet sich aber auch in zahlreichen Sandsteinen, Tonen und Mergeln, ja selbst in losen Sanden der Braunkohlenformation ungemein häufig. Die beiden gewöhnlichsten Arten sind der schwarze Magnesium-Eisenglimmer oder Biotit und der helle Kaliglimmer oder Muskowit, der auf die alten Eruptivgesteine beschränkt ist. Von praktischer Bedeutung ist allein der Muskowit, der aber nur dann technisch verwendbar ist, wenn er in großflächigen Tafeln auftritt. Dies ist der Fall in den sogenannten Pegmatiten oder Riesengraniten, die wir schon oben bei der Besprechung des Feldspats erwähnten. Es sind das Gänge, in denen die einzelnen Mineralien des Granits, nämlich Quarz, Feldspat und Glimmer, in sehr großen Individuen auftreten, so daß der Feldspat viele Kubikmeter große Kristalle bilden kann. Hier erlangen denn auch die Glimmerkristalle größere Ausmaße, so daß Stücke bis zu 1 m Durchmesser gefunden werden. Die Hauptgebiete für eine solche Glimmergewinnung sind Indien, die Uluguruberge in Deutsch-Ostafrika, eine Anzahl von Staaten der nordamerikanischen Union, Brasilien, Südafrika und China. In abweichender Art findet sich ein technisch brauchbarer Glimmer in Kanada, der Phlogopit, der als ein Erzeugnis der Einwirkung von Eruptivgesteinen auf Kalkstein zu den Kontaktlagerstätten gehört. — Die Verwendung des Glimmers erfolgt in der Hauptsache in der elektrischen Industrie infolge seines großen Widerstandes gegen den elektrischen Strom. Ferner wird er als Wärmeschutzmittel für Lampen-

zylinder, für die Fenster von Dauerbrand- und Hochöfen, für Schutzbrillen, und in gemahlenem Zustand zur Herstellung von Glanztapeten und Brokatfarben, feuerfestem Decken- und Bedachungsmaterial verwendet.

11. Granat. Der Granat ist ein regulär kristallisierendes Mineral, welches in chemischer Beziehung sechs Hauptgruppen aufweist, nämlich Kalktongranat (Grossular), Kalkeisengranat (Melanit), Magnesiumtongranat (Pyrop), Eisentongranat (Almandin), Mangantongranat (Spessartin) und Kalkchromgranat (Uwarowit). In ihnen allen sind die genannten Basen an Kieselsäure gebunden und die chemische Zusammensetzung bedingt die starken Unterschiede in der Färbung, die von dunkelrot über grün bis zur Farblosigkeit geht. Der Granat bildet einen Übergemengteil von kristallinen Schiefern und Graniten, er findet sich als Kontaktmineral in durch Eruptivgesteine umgewandelte Kalken und Dolomiten, er tritt als Gangmineral auf Erz- und Mineralgängen und schließlich lose auf sekundärer Lagerstätte zusammen mit anderen Halbedelsteinen und allein auf alluvialen Seifen auf. Besonders reine und schöngefärbte Granaten werden als Schmucksteine verwendet. Am bekanntesten sind als solche die böhmischen dunkelroten Pyropen, deren Verwendung stark von der Mode abhängt, so daß auch die Produktion sehr großen Schwankungen unterworfen ist. Die Hauptmasse dieser schönen Steine wird in der Gegend von Meronitz in Nordböhmen gefördert. Im übrigen findet der Granat, und zwar in der Hauptsache der hellrote Eisentongranat, als Schleifmittel für Schleifpapier und Schleifleinen in der Holz-, Leder- und einigen anderen Industrien Verwendung. Der wichtigste Lieferant von Granaten in Deutschland ist die Oberpfalz in Bayern, während die überhaupt größten Mengen heute von den Vereinigten Staaten geliefert werden. Ganz enorme Lager von Almandin hat der Verfasser im südlichen Ceylon in meilenlangen, bis zu 80% aus Granat bestehenden Dünenzügen an der Südküste der Insel bei Hambantota entdeckt, wo neben dem Granat nur noch Quarz und einige Prozente Magneteisen auftreten.

12. Der **Graphit** ist kristalliner Kohlenstoff und bildet ein dunkles, glimmerartiges, fettig sich anfühlendes, mit Wasser nicht benetzbares, äußerst schmiegsames und sehr schwer (erst bei 3500° C) schmelzbares Mineral, das teils in Gängen aus kohlenstoffhaltigen Dämpfen vulkanischen Ursprungs in stengeligen Massen abgesondert, teils in metamorphem, durch Druck, erhöhte Temperatur, tektonische Bewegungen oder Tiefengesteineinwirkungen umgewandeltes Sediment als letztes, kohlenstoffreichstes Glied der Kohlenreihe auftritt. Die Struktur ist teils stengelig, wie in den Eruptivgängen von Ceylon, teils schuppig, teils dicht. Die außerordentlich vielseitige Verwendbarkeit des Graphits beruht teils auf der schweren Schmelzbarkeit, teils auf seiner Schmiegsamkeit, teils auf der Fähigkeit abzufärben, teils auf der ausgezeichneten elektrischen Leitfähigkeit. Die erstgenannte Eigenschaft macht ihn geeignet für Schmelztiegel, die sehr hohe Temperaturen aushalten müssen (Passauer Tiegel). Durch seine Weichheit und Schmiegsamkeit ist er ein wichtiger Ersatz für Schmieröle in schnellaufenden Maschinen, in denen man eine Vergasung der Schmierölbestandteile durch Erhitzung verhüten will. Seine abfärbende Kraft bedingt seine Verwendbarkeit bei der Herstellung von Bleistiften, und die hohe elektrische Leitungsfähigkeit macht ihn geeignet für Elektroden und als Überzug für abzuformende Körper in der Galvanoplastik. Die Art des natürlichen Vor-

kommens bedingt eine umständliche Aufbereitung, bei welcher sich eine ganze Anzahl von Handelsprodukten für die verschiedenen Zwecke ergeben. Heute sind die wichtigsten Erzeugungsländer für Graphit der Bayrische Wald bei Passau, Südbayern, Deutsch-Österreich, Ceylon, Madagaskar und der Staat Sonora in Mexiko. Die Erzeugung von Graphit belief sich 1925 auf über 75000 metrische Tonnen, zu denen die obengenannten Länder je 8—12000 Tonnen beitrugen.

13. Kalkspat und **Kalkstein.** Der reine Kalkspat, aus Kalziumkarbonat bestehend, ist ein doppeltbrechendes, farbloses Mineral von ausgesprochen rhombischer Spaltbarkeit, welches bei vollkommener Wasserklarheit fast ausschließlich zur Herstellung von Nicolschen Prismen für Polarisationsapparate Verwendung findet. Bisher haben nur einige Vorkommen in den basaltischen Verwitterungstonen der Insel Island ein Material von hinreichender Reinheit geliefert, von dem jährlich einige Hundert Kilogramm gewonnen und mit mehreren Hundert Kronen je Kilogramm für reinste Ware bezahlt werden. Unendlich viel mannigfacher ist die Verwendung der mehr oder weniger mit anderen Stoffen verunreinigten, undurchsichtigen oder schwach durchscheinenden Kalkvorkommen, die zum Teil als Gestein ganze Gebirge zusammensetzen. Wir haben bereits in dem Abschnitt über Bauwesen einige Verwendungen (Mörtel, Zement, Baustein, Pflastersteine, ornamentale Baustücke) kennengelernt und wollen an dieser Stelle nur kurz die wichtigsten übrigen Verwendungsarten des Kalksteins und seiner vielen Abarten betrachten. Sehr feinkörnige und vollkommen gleichmäßig zusammengesetzte, gut geschichtete, nicht zu dünnbankige Kalksteine werden als lithographische Kalksteine verwendet, wenn sie ein hohes Aufsaugungsvermögen besitzen und für Kunstdruck verwertbar sind. Die natürlichen Platten werden abgeschliffen, geglättet und poliert und müssen völlig frei sein von Einschlüssen kristallinen Kalkes in Körnern oder Kluftverheilungen. Solche Steine finden sich nur im süddeutschen weißen Jura bei Solnhofen, wo sie schon seit 400 Jahren in ausgedehnten Brüchen gewonnen werden. In diesem unendlich feinen, erhärteten Kalkschlamm finden sich auch zahlreiche, wundervoll erhaltene Fossilien der oberen Jurazeit, darunter der älteste bekannte Vogel, der Archäopteryx, der hier in zwei Stücken gefunden worden ist.

Auch die Schreibkreide besteht aus kohlensaurem Kalk. Das feinmehlige, abfärbende, weiße Gestein bildet gewaltige Massen in der oberen Kreideformation, in denen zumeist Feuerstein in Knollen und Lagen auftritt. Die weiße Kreide hat ihre Hauptverbreitung in England, Nordfrankreich, Belgien, Norddeutschland, Dänemark und Südschweden. In Deutschland ist besonders Rügen durch seine Kreidefelsen berühmt. Hier wird die Kreide in zahlreichen, großen Brüchen gewonnen, durch Schlämmen von Verunreinigungen (Feuerstein, Kalkschalen von Versteinerungen) befreit und als Schlämmkreide in den Handel gebracht. An anderen Orten Norddeutschlands wird die Kreide zur Herstellung von Zement gewonnen (Lebbin, Finkenwalde bei Stettin). Daneben laufen zahlreiche andere Verwendungsarten, wie als Schreibkreide, Polier- und Putzmittel, in der Tapeten- und Papierindustrie, in der Färberei und Keramik. — Eine wundervoll gefärbte, durchscheinende Abart des kohlensauren Kalkes ist der Onyxmarmor, ein Absatz heißer Quellen, dessen prächtige, farbenreich gebänderte Platten für Innendekorationen überaus geschätzt sind. Er findet sich an mehreren Orten in Algier und Mexiko. — Der gemeine

Kalkstein wird außer den bereits früher angeführten Verwendungsarten noch benutzt als Zuschlag beim Verschmelzen von Erzen in der Hüttenindustrie, als Zuschlag bei der Glasproduktion, zur Herstellung von Soda, bei der Zuckererzeugung und als künstliches Düngemittel. In der Natur findet sich Kalkstein in allen Formationen vom Kambrium bis zum Alluvium und in allen Formen vom harten, kristallinischen Marmor bis zum lockeren, kreideartigen Wiesenkalk. Manche Formationen, wie der Muschelkalk, der obere Jura und die obere Kreide, sind in Deutschland fast ganz aus Hunderten von Metern mächtigen Kalkmassen aufgebaut.

14. Kaolin. Kaolin oder Porzellanerde ist ein Aluminiumhydrosilikat und bildet eine feinerdige, lockere Masse von in reinem Zustande weißer, meist aber durch Verunreinigungen nach gelbgrau und braun abgetönter Farbe. Der Kaolin ist kein ursprüngliches Mineral, sondern aus der Zersetzung und Verwitterung von Feldspat, und zwar von Kali- und Kalknatronfeldspaten unter besonderen klimatischen Bedingungen hervorgegangen. Infolgedessen findet sich der Kaolin in den oberen Verwitterungsschichten von feldspatreichen Gesteinen, wie Graniten, Porphyren und ähnlichen Eruptivgesteinen, sowie in feldspathaltigen Sedimenten, wie in manchen Sandsteinen. Entsprechend dieser seiner Entstehung ist der Kaolin immer durch die unverwitterten Bestandteile des Muttergesteins, meist Quarz, Glimmer und unzersetzten Feldspat, mehr oder weniger verunreinigt und muß davon durch Schlämmen befreit werden. Solche Aufbereitungsarbeit hat aber auch die Natur vielfach geleistet und hat dann den ausgewaschenen Kaolin an anderen Stellen wieder abgelagert und dadurch sekundäre Lagerstätten erzeugt, die reiner und mächtiger sind als die ursprünglichen. Der Kaolin hat große Verbreitung in allen Erdteilen und die Zahl seiner Ablagerungen ist Legion, aber nur ein kleiner Teil besitzt alle für technische Verwertung günstigen Eigenschaften. Die besten Kaolinlager Deutschlands liegen im Freistaat und in der Provinz Sachsen, in Schlesien, Thüringen, Bayern und in der Rheinprovinz. Auch Böhmen, Ungarn, England, Bornholm und Rußland besitzen große Kaolinvorkommen, ferner China und Japan, während die Vereinigten Staaten arm daran zu sein scheinen. — Die Verwendung des Kaolins erfolgt, wie schon der Name „Porzellanerde" besagt, in der Hauptsache in der Keramik zur Erzeugung von Porzellan. Daneben tritt die Benutzung in der Papierfabrikation als Füllstoff, zur Appretur, in der Textil-, Farbstoff- und chemischen Industrie stark zurück. Die Jahreserzeugung von Kaolin beträgt etwa $1^1/_4$—$1^1/_2$ Millionen Tonnen.

15. Kieselgur. Mit diesem Namen bezeichnet man ein aus mikroskopisch kleinen Kieselpanzern einzelliger Algen, sogenannter Diatomeen, aufgebautes, bald lockeres, bald festes, natürliches Material von hellgelblicher bis bräunlicher oder grünlicher Farbe, welches in Süßwasserseen aus den absterbenden, im Wasser lebenden Kieselalgen entstanden ist. Die Kieselgur enthält gewöhnlich viel organische und anorganische Beimengungen, meist in Form von Faulschlamm, die so stark werden können, daß das Material, einmal angezündet, weiterbrennt. Ihre Ablagerungen können bis zu 15 m Mächtigkeit erreichen. Die Eigenschaften, die sie für technische Verwendung fähig machen, sind in erster Linie ihr großes Aufsaugungsvermögen, welches durch die hohle Beschaffenheit der Millionen und Billionen der winzigen Kieselpanzer bedingt ist; dann ihre Unangreifbarkeit durch Säuren, ihre sehr geringe

Wärmeleitungsfähigkeit und ihr niedriges spezifisches Gewicht. Die Porosität und Aufsaugungsfähigkeit machen die Kieselgur verwendbar für die Herstellung von Dynamit als Träger des wirksamen Sprengstoffes, des Nitroglyzerins, und zur Überführung von Säuren, Alkalien und Petroleum in feste Form zur Vereinfachung des Transports. Ferner dient es als Politurmaterial, als Isoliermittel gegen Schall und Wärme, zur Herstellung von leichten Kunststeinen, für Gefäße und Röhren in der chemischen Industrie, für Steine in der feuerfesten Industrie und zu vielen anderen, mehr untergeordneten Zwecken. — In Deutschland liegen die wichtigsten Vorkommen im Diluvium der Lüneburger Heide bei Soltau, an der Elbe bei Klieken in Anhalt und schließlich am Vogelsberge in Hessen.

16. Korund. Der aus kristallisierter Tonerde aufgebaute Korund findet sich als durchsichtiges, lebhaft gefärbtes Mineral und rechnet dann zu den kostbarsten Edelsteinen, die als Rubin und Saphir bezeichnet werden und in Birma bzw. Ceylon ihre wichtigsten Vorkommen besitzen. Dagegen bildet der gemeine Korund derbe Massen in den Kontakthöfen von Tiefengesteinen und magmatische Ausscheidungen in diesen selbst. Er findet hauptsächlich als Schleifmittel Verwendung und kommt in der Hauptsache aus Kanada, den Vereinigten Staaten, Indien und Südafrika. Ebenfalls hierher gehört der Schmirgel, ein Gemenge von Korund mit Magneteisen und einigen anderen untergeordneten Mineralien, welches Einlagerungen in Kalken und kristallinen Schiefern bildet und seine Hauptvorkommen auf der Insel Naxos, in Kleinasien und den Staaten Virginia und Massachusetts in der Union besitzt. Auch der Schmirgel dient ganz ausschließlich als Schleif- und Poliermittel, da Korund nächst dem Diamant das härteste aller natürlichen Mineralien ist.

17. Magnesit. Der Magnesit ist ein natürliches Magnesiumkarbonat, dem gewöhnlich geringe Mengen von Kalk, Eisenoxyd, Tonerde und Kieselsäure beigemengt sind. Man unterscheidet in der Industrie dichten und kristallinischen Magnesit. Die dichten Magnesite sind als Gele aus olivinführenden Serpentinen durch Verwitterung an der Oberfläche entstanden, während der kristallinische Magnesit bei hoher Temperatur als Produkt der Umwandlung von Kalk entstanden ist. Der dichte Magnesit hat seine Hauptverbreitung in den Ländern der Balkanhalbinsel und in Kleinasien, während der kristalline hauptsächlich in den österreichischen Alpen, der Tschechoslowakei und in Ungarn gewonnen wird. Aus dem reinen Magnesit wird Kohlensäure hergestellt. Weit mannigfaltiger ist die Verwendung des Magnesits in gebranntem Zustande, nachdem die Kohlensäure durch Erhitzung ausgetrieben ist. Wird beim Brennen nur eine gerade ausreichende Temperatur verwendet, so eignet sich das Produkt zur Herstellung von Fußböden, Treppenstufen und vielerlei anderen Baukörpern, bei denen Feuerfestigkeit erstrebt wird. Erfolgt das Brennen dagegen bei sehr hoher Temperatur, so tritt eine Umkristallisation in Periklas ein, und der Magnesit besitzt in diesem Zustand eine noch viel höhere Feuerbeständigkeit, so daß er in Schmelzöfen und Hochöfen den höchsten Hitzegraden, bis zu 3000° C, widersteht. Die jährliche Erzeugung beträgt $^1/_3$—$^1/_2$ Million metrischer Tonnen, deren größter Teil auf die Länder der alten österreich-ungarischen Monarchie entfällt.

18. Meerschaum. Auch der Meerschaum ist eine Magnesiumverbindung wie der Magnesit und kommt auf ganz ähnlichen Lagerstätten wie dieser vor. Er ist ein wasserhaltiges Magnesiumsilikat von feinkristallinischer Beschaffenheit, weißer

Farbe, geringer Härte, großem Aufsaugungsvermögen für Flüssigkeiten und leichter Bearbeitbarkeit. Er findet sich als Zersetzungsprodukt serpentinartiger Gesteine auf Verwitterungslagerstätten an einer Reihe von Orten, von denen aber nur das Vorkommen von Eski-Schehir in Kleinasien technische Bedeutung hat. Das Mineral tritt hier in größeren und kleineren Knollen auf, die regellos in einer stark zersetzten Serpentinbrekzie liegen und von den anatolischen Bauern mittels zahlloser kleiner Schächte gewonnen werden. Die Verarbeitung erfolgt ausschließlich auf Zigarrenspitzen und Pfeifenköpfe, und das Mineral gelangt von Wien aus zur Verteilung an die Verarbeitungsplätze, von denen in Deutschland allein Ruhla in Betracht kommt.

19. Phosphat. Mit dem Sammelnamen „Phosphat" werden in Handel und Industrie eine Reihe von Mineralien und Gesteinen zusammengefaßt, die alle in der Hauptsache Verbindungen von Kalk mit Phosphorsäure darstellen. Die wichtigsten von ihnen sind das Mineral Apatit, ein Trikalziumphosphat mit Chlor- oder Fluorkalzium, und der Phosphorit, ein kryptokristallines oder dichtes Phosphat ohne nennenswerten Fluor- oder Chlorgehalt. Das Mineral Apatit spielt wirtschaftlich gar keine Rolle sondern nur die Phosphorite. Sie finden sich als runde bis walzenförmige Konkretionen in Sedimenten verschiedenen Alters oder in Form von derben Massen oder als Bindemittel in den mannigfaltigsten Verwitterungsgesteinen. Phosphorite finden sich über den ganzen Erdball verteilt, aber ihre wichtigsten Vorkommen liegen in Nordafrika und Nordamerika. In Deutschland finden sich die wirtschaftlich bedeutungsvollsten Lager an der Lahn und Dill in Klüften und Schratten des devonischen Stringozephalenkalkes und des Schalsteins, im nördlichen Harzvorlande in der oberen Kreide, im Unteroligozän bei Helmstedt und an vielen Stellen im nordöstlichen Deutschland. Alle diese Lagerstätten spielen heute wirtschaftlich keine Rolle mehr, und ebenso verhält es sich mit den zuletzt im Kriege ausgebeuteten Phosphoriten im Hangenden der belgischen Kreide. Sehr zahlreiche Vorkommen beherbergt Frankreich, ebenfalls in der Kreide, aber für dieses Land sind die Lagerstätten in Algier, Tunis und Marokko am bedeutungsvollsten. In diesen Ländern Nordafrikas finden sich ausgedehnte Phosphoritlager im alten Tertiär an der Grenze gegen die Kreide in mehreren Horizonten. Noch größere Phosphoritmengen besitzen die Vereinigten Staaten in ihren Südstaaten, von denen Florida jetzt der wichtigste Produzent ist. Auch hier finden sich die Phosphorite im älteren und jüngeren Tertiär bis ins Alluvium der Flüsse hinein, wogegen Tennessee seine Phosphorite aus alten silurischen, devonischen und karbonischen Gesteinen fördert. Ganz anderer Art sind die sogenannten Inselphosphate; sie führen ihren Namen nach ihrem Auftreten auf zahlreichen Inseln des Stillen Ozeans und des westindischen Archipels und sind meist aus jugendlich gehobenen Korallenriffen hervorgegangen, die Jahrtausende hindurch den Vögeln als ungestörte Brutplätze dienten. Die im Guano dieser Tiere enthaltene Phosphorsäure hat den kohlensauren Kalk der Korallenbauten bis zu großen Tiefen hinunter in Phosphorit umgewandelt. Im Stillen Ozean sind die Marschallinseln mit Nauru, die Christmasinsel südlich von Java, die Palauinseln, Gilbertinseln und einige Karolineninseln, im westindischen Archipel Curaçao, Aruba, Sombrero und die kleinen kolumbianischen Küsteninseln zu nennen. Hauptproduzent in Westindien ist heute das östliche Curaçao mit einem über 20 m mächtigen Phosphoritlager. Die Verwendung der Phosphorite

erfolgt zum großen Teil zu Düngezwecken. Da aber das natürliche Phosphat im Wasser unlöslich ist, so muß es mit Schwefelsäure aufgeschlossen werden, wobei Gips und lösliches Superphosphat sich bildet. Der Verbrauch der Landwirtschaft an Superphosphat ist enorm, so daß sich die hohe Jahresproduktion von 7 bis 8 Millionen Tonnen erklärt.

20. Quarz. Der Quarz besteht aus Kieselsäure und tritt in der Natur teils kristallin als Bergkristall, Amethyst und gemeiner Quarz, teils kryptokristallin bis dicht als Chalzedon, Jaspis, Achat, Hornstein, Lydit und Feuerstein auf. Während Bergkristall, Amethyst und eine Anzahl von kryptokristallinen Varietäten fast nur für Schmucksachen in der Kunstindustrie Verwendung finden, hat der gemeine Quarz, der uns hier vorwiegend beschäftigen soll, eine außerordentlich vielseitige Verwendung. Der Quarz ist dasjenige Mineral, welches am Aufbau der Erde den größten Anteil besitzt. Er findet sich als wesentlicher Bestandteil in den wichtigsten und verbreitetsten Eruptivgesteinen, er setzt als Sandstein ganze Formationen vorwiegend zusammen, er tritt in Gesteinen jeden Alters als Ausfüllung von Gängen und Klüften auf und er spielt endlich als loser Sand in den jüngsten Gesteinen des Tertiärs und Quartärs eine bedeutungsvolle Rolle. Für seine technische Verwertbarkeit kommt der Grad seiner Reinheit, vor allen Dingen das Fehlen oder Vorhandensein von Eisenverbindungen neben der Leichtigkeit seiner Gewinnung in Frage, und deshalb sind die Vorkommen von Quarz in den bereits mehrfach erwähnten Pegmatiten oder Riesengraniten, in den Quarzgängen und in lockeren Sand die Hauptstätten seiner Gewinnung. Wir können nur auf einige der wichtigsten Verwendungsarten eingehen. Quarzsand ist ein wichtiger Rohstoff der Glasfabrikation, je reiner der Quarz, je freier von Eisen er ist, desto wasserklarer werden die Gläser. Der Eisengehalt darf 0,05% nicht übersteigen, da sonst das Glas sofort einen gelblich-grünen Ton annimmt. Diese Bedingung wird von manchen Gangquarzen erfüllt, die nach dem Brechen gemahlen werden müssen, und von einigen Vorkommen loser Sande, deren wichtigste im Tertiär der Niederlausitz bei Hohenbocka in Gestalt alter, miozäner Dünensande und am Niederrhein an der holländischen Grenze, sowie in Belgien auftreten. Die feinsten, zum Teil noch gemahlenen Quarzsande finden Verwendung zu Anstrichfarben, Putz- und Schleifmitteln in der Keramik, bei der Herstellung von Kalksandstein und zur Fabrikation von Karborund. Die festen Quarzgesteine werden in der feuerfesten Industrie als hoch feuerbeständige Dinas- und Silikasteine verwendet. Hierfür eignen sich aus Gründen der mikroskopischen Struktur am besten die sogenannten Knollensteine der Braunkohlenformation, die nach mehrmaligem Glühen ihr Volumen nicht mehr vergrößern. Auch direkte Platten von Quarzschiefer werden in der feuerfesten Industrie verwendet. Die Verwendung des Quarzsandes zu Schamottesteinen leitet bereits über zu den im Abschnitt über Baumaterialien bereits besprochenen Verwendungsarten.

21. Salpeter. Von den natürlichen Verbindungen der Salpetersäure mit Kalk, Magnesium, Kali und Natron sind nur die beiden letzteren von wirtschaftlicher Bedeutung. Der Kalisalpeter dient zur Herstellung von Schwarzpulver. Er wird in zahlreichen Ländern Asiens durch Auslaugen salpeterhaltiger, alluvialer Niederungsböden gewonnen und durch mehrfache Umkristallisation gereinigt. Weitaus

wichtiger ist aber der Natronsalpeter, der sich in den oberen Bodenschichten trockner Wüstengebiete Nordchiles, in der sogenannten Salpeterwüste findet. Die Salpeterlager treten hier gemengt mit anderen Salzen (Kochsalz, Gips, Chlormagnesium) in einem als Caliche bezeichneten Gestein auf, welches im Tagebau durch Schießarbeit gewonnen, in Laugenbecken ausgelaugt und durch Umkristallisation gereinigt wird. Die Calichelager erstrecken sich am Osthange der Kordilleren von Norden nach Süden über sieben Breitengrade. Die Vorräte sind noch sehr groß und reichen noch für mehrere Hundert Jahre. $^4/_5$ der Produktion, die zwischen 1 und 3 Millionen Tonnen jährlich schwankt, werden als Stickstoffdünger in der Landwirtschaft verwendet, der Rest in der chemischen Industrie zur Herstellung von Salpetersäure und Kalisalpeter und für einige andere Zwecke.

22. Schwefel. Die Vorkommen natürlichen Schwefels sind teils vulkanische Exhalationsprodukte, die in einer Reihe tätiger Vulkane oder in den sie begleitenden, schwefelhaltigen Quellen (Solfataren) auftreten, teils sedimentäre Bildungen in Kalkstein, Dolomit und Mergeln jüngerer Formationen. Letztere Vorkommen sind in allen Erdteilen weit verbreitet, besitzen aber nur in zwei Gebieten größere wirtschaftliche Bedeutung: in Sizilien und in den Golfstaaten Nordamerikas, besonders in Louisiana und Texas. In Sizilien findet sich der Schwefel, dessen Entstehung in beiden Gebieten mit dem Vulkanismus nicht das geringste zu tun hat, unter Bedingungen, die sein Ausscheiden aus einem gleich dem Schwarzen Meere mit Schwefelwasserstoff übersättigten Seewasser durch Bakterientätigkeit wahrscheinlich machen. Die den Schwefel einschließenden Schichten enthalten nämlich von organischen Resten nur solche von frei in den oberen Schichten des Meeres schwimmenden Tieren, Fischen und Foraminiferen, aber keine Bodenbewohner, die in dem in der Tiefe völlig vergifteten Wasser nicht leben konnten. In Louisiana und Texas findet sich der Schwefel in 25—30 m mächtigen Ablagerungen in den Deckschichten einiger domförmiger Aufragungen permischen Steinsalzes in ungeheuren Mengen, die für die einzelnen Dome auf je mehrere Millionen Tonnen geschätzt wird. Diese unter mächtigen Schwimmsanddecken liegenden Schwefellager werden erst seit etwa 15 Jahren nach dem Verfahren des Ingenieurs Frasch ausschließlich durch Bohrlöcher ausgebeutet, wobei Gewinnung, Förderung und Reinigung einen einheitlichen Vorgang bilden, der die Gewinnungskosten ungemein verbilligt. Ein 330 mm weites Rohr wird in das Schwefellager niedergebracht, durch dieses Rohr werden zwei weitere Rohre von immer kleiner werdendem Durchmesser hinabgesenkt; in dem Zwischenraum zwischen dem ersten und zweiten Rohr wird überhitztes Wasser von 160° Wärme hinuntergedrückt, welches durch seitliche Öffnungen im Bohrrohre in das Schwefellager eindringt und den Schwefel zum Schmelzen bringt. Durch das innerste Rohr wird heiße Druckluft von 28 Atmosphären hinabgepreßt, die sich beim Austritt mit dem flüssigen, am Fußende des Rohrs angesammelten Schwefel mischt und ihn spezifisch so leicht macht, daß er in der Rohrleitung bis über Tage steigt. Dort läßt man den Schwefel in große Holzkisten von 75000—150000 Tonnen Inhalt fließen und darin erkalten, worauf der gigantische Block wie im Steinbruch abgebaut und verladen wird. Durch diese Gewinnungsmethode hat Amerika alle Konkurrenz auf dem Schwefelmarkte geschlagen. — Der Schwefel findet teils als solcher, teils in aus ihm gewonnener schwefeliger Säure

und Schwefelsäure Verwendung in der chemischen Industrie, in der Papierindustrie zur Erzeugung von Sulfitzellstoff, in der Farben-, Schießpulver- und Feuerwerksindustrie, zum Vulkanisieren des Kautschuks, zum Schwefeln und Bleichen, als Füllmittel, z. B. für den Kugelinhalt von Schrapnells, und zur Anfertigung von Kitten und Abgüssen. Die Vereinigten Staaten erzeugten 1924 $1^1/_2$ Millionen Tonnen, Italien nur $^3/_{10}$ Millionen Tonnen; seitdem aber dürfte sich das Verhältnis noch weiter zuungunsten Italiens verschoben haben.

23. Schwerspat. Der Schwerspat oder Baryt besteht aus schwefelsaurem Barium, ist ein in reinem Zustand weißes, spezifisch schweres Mineral, welches sich meist auf Erzlagerstätten und nur selten selbständig auf Gängen oder in größeren, abbauwürdigen Lagern findet. Nur diese, sowie die reineren Barytgänge sind abbauwürdig. Unter den produzierenden Ländern steht das Deutsche Reich an der Spitze. Das Schwerspatlager von Meggen an der Lenne bildet ein 1,5—6 m mächtiges, im Norden aus Schwefelkies, sonst aus Schwerspat bestehendes, im Devon auftretendes und den Massenkalk vertretendes Vorkommen. Die Schwerspatgänge treten in fast allen Gebirgen Deutschlands auf und führen meist noch andere Mineralien und Erze, enthalten aber den Schwerspat häufig so angereichert, daß er in großen Mengen gewonnen werden kann. Außer Deutschland kommen als Schwerspatlieferanten nur noch England und die Vereinigten Staaten in Betracht. Der rohe Schwerspat wird zumeist durch Auslesen gereinigt, dann einem Waschprozeß unterworfen und bei Anwesenheit störender Färbungen durch Bleichen entfärbt. Er findet seine Hauptverwendung in der Farbenindustrie als weiße Farbe und Lithopone, sowie in der Tapeten-, Papier-, Seiden- und Ziegeleiindustrie.

24. Talk. In die Gruppe der zusammenfassend als „Talk" bezeichneten, wasserhaltigen Magnesiasilikate gehören eine Anzahl von Mineralien, die als Speckstein, Topfstein oder Lavezstein bezeichnet werden, sich alle fettig oder seifig anfassen, geringe Härte und gute Bearbeitbarkeit besitzen und in allen Fällen Verwitterungsbildungen anderer Magnesiasilikate darstellen. In Deutschland liegen die größten und besten Vorkommen bei Göpfersgrün im Fichtelgebirge in kristallinen Schiefern. In Europa sind weitere Vorkommen bekannt aus den Zentralalpen in Steiermark und Piemont und in Frankreich aus den Pyrenäen. Die größten Vorkommen der ganzen Erde besitzen die Vereinigten Staaten in den atlantischen Staaten als Einlagerungen in den kristallinen Schiefern von Vermont bis Georgia. Das gemahlene Material, welches als Talkum oder Federweiß bezeichnet wird, findet vielfach Verwendung in der Papier- und Textilindustrie, in der Kosmetik, bei der Leder-, Sprengstoff-, Farben- und vielen anderen Industrien, während aus dem ungemahlenen Stein Gasbrenner, Schneiderkreide, Gefäße für die chemische Industrie und schließlich kleinere Bildhauerarbeiten hergestellt werden. — Die gesamte Erzeugung beziffert sich jährlich auf etwa 200000 Tonnen.

* * *

Siebenter Teil

Angewandte Botanik

Von Dr. W. Kotte

Regierungsbotaniker, Freiburg i. B.

Gliederung des siebenten Teiles

Seite

I. Landwirtschaftliche Kulturpflanzen 417
II. Faser- und Gespinstpflanzen 420
III. Nutzhölzer 423
IV. Gartenblumen und Zierpflanzen 426
V. Genußmittel 429
VI. Gewürze 432
VII. Heil- und Giftpflanzen 433
VIII. Speisepilze 435
IX. Niedere Pilze, Pflanzenkrankheiten 438
X. Pflanzenernährung und Düngung 450
XI. Pflanzenzüchtung 453

Wie jede Wissenschaft, so ist auch die Botanik ursprünglich aus Bedürfnissen des praktischen Lebens hervorgegangen. Nachdem sich dann mit steigender Kultur der Drang nach wissenschaftlicher Erkenntnis, nach zweckfreiem Wissen entwickeln konnte, wurden auch pflanzliche Gestalten beachtet, Fragestellungen aufgeworfen, die weit ab lagen von den praktischen Bedürfnissen des Tages. Aber immer zeigte sich dabei — wie überall im Gebiet der Wissenschaft —, daß rein theoretische Erkenntnisse oft genug von größter Bedeutung für die Erzielung praktischer Erfolge sein können. So entstand die „Angewandte Botanik". Ihre Quellen sind die primitiven Kenntnisse der Kräutersammler, Gärtner und Ackerbauern einerseits, und die wissenschaftlichen Forschungen der botanischen Laboratorien andererseits. Die Bedürfnisse des Lebens liefern ihr die Aufgaben, die wissenschaftliche Erkenntnis der Pflanzenwelt gibt ihr die Mittel zu ihrer Lösung. Und je tiefer die rein wissenschaftliche Botanik eindringt in die Erkenntnis vom Wesen der Pflanze, desto sicherer gestaltet sich die Arbeit der angewandten Botanik zu Schaffung wirtschaftlicher Werte.

I. Landwirtschaftliche Kulturpflanzen.

Unter allen Nutzpflanzen nehmen diejenigen die erste Stelle ein, denen wir das tägliche Brot verdanken. In den ältesten Zeiten der Urgeschichte schon hat der Mensch gelernt, die Früchte verschiedener Grasarten zur Nahrung zuzubereiten und diese Gräser in Kultur zu nehmen. Wir wissen heute noch nicht, wo der Ackerbau entstand. Man könnte daran denken, daß man unsere Getreide irgendwo auf der Erde wild finden müßte und dort den Ursprung ihrer Kultur zu suchen hätte. Aber wir finden die Formen der Getreidegräser, die heute auf unseren Äckern wachsen, nirgendwo mehr wild vor. Wir haben heute Kulturformen der Getreide vor uns, die sich aus wilden Formen entwickelt haben. Diese Ausgangsformen sind für manche Getreidearten ziemlich sicher, für andere aber nur höchst zweifelhaft nachgewiesen. Über die ältesten Kulturformen der Getreide wissen wir verhältnismäßig gut Bescheid, denn Getreidekörner finden sich in vielen vorzeitlichen Gräbern, und auch der Schlamm der Schweizer Seen hat uns die Getreide der Pfahlbaumenschen, ja sogar die aus ihnen gebackenen Kuchen treulich aufbewahrt.

Wenn wir unsere Getreide nach ihrer weltwirtschaftlichen Bedeutung ordnen, so stehen in erster Linie die vier Hauptgetreidearten: Weizen, Roggen, Reis und Mais. In zweiter Reihe erst folgen dann: Gerste, Hafer, Hirse und Buchweizen.

Der Weizen (Triticum sativum), die bedeutendste aller Kulturpflanzen, ist in mehreren Arten ein uraltes Kulturgut. Seine wilde Form ist erst in jüngster Zeit aufgefunden worden — jedenfalls glaubt man sie in einem Gras zu erkennen, das am Antilibanon wächst. Ursprünglich stammt der Weizen aber wohl aus Innerasien. Von hier gelangte er nach Osten — im dritten Jahrtausend vor Chr. wird er in China gebaut — und nach Westen, wo wir ihn schon im vierten Jahrtausend in ägyptischen Gräbern finden. Der Weg des Weizens in Europa ist noch umstritten. In Deutschland ist er jedenfalls keine sehr alte Brotfrucht, denn erst im frühen Mittelalter sehen wir Weizenbau neben der Gerste, dem alten deutschen Getreide, aufkommen. Groß war für die vorgeschichtlichen und frühgeschichtlichen Kulturen die Bedeutung einiger Kulturformen des Weizens, die heute fast verschollen sind. Das sind der Spelz oder Dinkel, der Emmer und das Einkorn, Getreidearten, die sich wohl von anderen Stammformen ableiten lassen als der Weizen.

Der Roggen (Secale cereale) ist im Gegensatz zum Weizen eine verhältnismäßig junge Kulturpflanze, und zwar ist er den nordischen Völkern eigen, im Kulturkreis des Mittelmeeres blieb der Roggen fast unbekannt. Seine Kultur begann vermutlich in Südrußland. Die Pflanze, die als seine Wildform gilt, ist heute weit verbreitet, von Marokko bis Innerasien. Manche Forscher sehen im Roggen ein ursprünglich slawisches Kulturgut, das dann die Germanen von ihren östlichen Nachbarn übernommen hätten, jedenfalls verhältnismäßig spät. In karolingischer Zeit ist der Roggenbau in Deutschland aber schon sehr verbreitet.

Das wichtigste Getreide der wärmeren Zonen ist ohne Zweifel der Reis (Oryza sativa). Bildet er doch für schätzungsweise 750 Millionen Menschen das wichtigste Nahrungsmittel. Der Reis ist eines der ganz wenigen Sumpfgewächse, die zu Kulturpflanzen geworden sind. Sein Anbau erfordert deshalb kunstreiche Bewässerungsanlagen. In hügligem Gelände kann der Reis nur auf flachen Terrassen angebaut werden, die durch niedrige Dämme umgrenzt sind und durch unzählige kleine Wasseradern überflutet werden können. So bietet eine Landschaft, in der Reis gebaut wird, ein sehr merkwürdiges Bild, das einigermaßen an unsere Weinbergterrassen erinnert. Hauptländer des Reisbaus sind Ostindien, Java und Japan, aber auch in Nordamerika und in Oberitalien wird vorzüglicher Reis gebaut. Bekanntlich kommt der Reis im Gegensatz zu den anderen Getreiden ohne die Fruchthülle in den Handel, von der er durch „Polieren" befreit wird, nachdem er durch „Schälen" von den Spelzen gereinigt wurde. Der Reis wird bei uns und auch in seinem Heimatlande meist unvermahlen genossen. In Ostasien dient er auch als Ausgangsmaterial für den Reisbranntwein und das japanische Reisbier oder Saké. Die Sakébereitung ist vom botanischen Standpunkt aus sehr interessant, da die Stärke des Reises durch einen Schimmelpilz (Aspergillus oryzae) verzuckert wird. Bei unserer Bierbrauerei, der die Gerste als Ausgangsmaterial dient, wird bekanntlich die Stärke des Kornes durch Keimung in Zucker verwandelt und so das Malz gewonnen. Bei der Sakébrauerei besorgt der Schimmelpilz die Verzuckerung. In großen Fabrikbetrieben wird er massenhaft gezüchtet, der einzige Fall, daß ein Schimmelpilz zur Nutzpflanze geworden ist.

Der Mais (Zea Mais) ist ursprünglich in Amerika heimisch, heute aber als wichtiges Getreide auf der ganzen Erde verbreitet. Er unterscheidet sich bekanntlich

von allen anderen Getreidearten dadurch, daß er nicht zwittrige, sondern eingeschlechtliche Blüten trägt. Männliche und weibliche Blüten finden sich aber auf derselben Pflanze; der Mais ist also „einhäusig". Auch der Mais hat, wie die anderen Getreide, verschiedene Kulturrassen hervorgebracht, von denen die einen mehr zur menschlichen Ernährung, die anderen mehr als Futtermittel Verwendung finden.

Abb. 204. Maisbrand. Stengel mit Brandbeulen.

Gegenüber den vier Hauptgetreidearten stehen die übrigen an weltwirtschaftlicher Bedeutung weit zurück Die Gerste (Hordeum sativum) ist eine sehr alte Kulturpflanze. Sie stammt aus Innerasien und findet sich schon zur Steinzeit in Europa. Die Germanen besaßen sie schon, als sie mit dem Kulturkreis des Mittelmeeres in Berührung kamen, auch verstanden sie es schon, Bier daraus zu brauen. Heute wird die Gerste nur noch wenig zur menschlichen Ernährung verwendet, dagegen hat sie die größte wirtschaftliche Bedeutung als Ausgangsstoff zur Bierbrauerei. Der Hafer (Avena sativa), ebenfalls sehr alt und seit langem ein Kulturgut der nordischen Völker, hat im Süden nur eine sehr geringe Rolle gespielt. Umgekehrt steht es mit der Hirse (Panicum miliaceum), die gerade für die Völker des Mittelmeeres ein wichtiges Getreide war und es zum Teil heute noch ist. In nördlichen Gegenden hat der Hirseanbau im Mittelalter eine gewisse Rolle gespielt; heute ist er dort fast erloschen. Der Buchweizen (Fagopyrum esculentum) endlich hat nur eine geringe Bedeutung für die Weltwirtschaft. Er ist aber dadurch bemerkenswert, daß er von den hier besprochenen Brotfrüchten die einzige ist, die nicht zu den Gräsern gehört. Er gehört zur Familie der Knöterichgewächse. Seine dreikantigen Früchte finden vor allem in Rußland und Asien als Brotfrucht Anwendung.

Von den übrigen Gewächsen des Ackerbaus sind die Kartoffel und die Zuckerrübe für die deutsche Landwirtschaft so wichtig, daß wir nicht an ihnen vorübergehen können. Die Kartoffel (Solanum tuberosum) stammt bekanntlich aus Amerika. In Peru oder Chile wurde sie schon von den spanischen Eroberern vorgefunden. Nach Europa soll sie zuerst Sir Francis Drake gebracht haben; indessen

waren die „Potatoes", die er bei einem Gastmahl nach seiner Rückkehr seinen Gästen vorsetzte und die uns die erhaltene Speisekarte überliefert hat, nicht unsere Kartoffeln, sondern Bataten oder Süßkartoffeln, die Knollen von Dioscorea batatas. Von der Mitte des 17. Jahrhunderts an begann der Kartoffelbau sich in Deutschland auszubreiten; anfänglich nur langsam — noch Friedrich der Große mußte bekanntlich durch Feldgendarmen die Bauern zum Anbau ermuntern —, dann aber immer schneller.

Heute spielt die Kartoffel in der deutschen Landwirtschaft eine höchst bedeutende Rolle, die sie in keinem anderen Lande erreicht. Daß die Knolle der Kartoffel keine „Frucht" ist, die aus einer Blüte hervorgegangen ist, ist allgemein bekannt. Sie ist auch keine Wurzelbildung, wie wohl mancher meint, sondern sie ist ein umgewandelter Stengel; die Knospen des Stengels sitzen an ihr noch als die „Augen". Die Kartoffelzüchtung, die später eingesetzt hat als die Züchtung mancher anderen Kulturpflanze, hat uns bereits eine große Menge Sorten geliefert, die für die verschiedensten Reifezeiten und Verwendungsarten brauchbar sind. Die wissenschaftlich geleitete Züchtung neuer Kartoffelsorten ist zurzeit ein sehr eifrig betriebenes Arbeitsgebiet, auf dem noch große Erfolge zu erwarten sind. Man benutzt jetzt auch schon wilde Formen der Kartoffel aus Chile zu Züchtungszwecken, um deren Widerstandsfähigkeit gegen Krankheiten mit den wertvollen Eigenschaften der einheimischen Sorten zu vereinigen.

Die Zuckerrübe ist eine Kulturform der vielgestaltigen Pflanze Beta vulgaris. Auch die Runkelrübe, die rote Rübe, der Mangold gehört zur gleichen Stammpflanze — nicht dagegen die Mohrrübe, die Kohlrübe und der Rettich! Im Jahre 1747 wurde der Zuckergehalt der Rübe durch den Apotheker Marggraf in Berlin entdeckt, aber erst etwa 100 Jahre später war die Industrie so weit vorgeschritten, daß die ersten Zuckerfabriken entstehen konnten. Durch zielbewußte Züchtung gelang es, den Zuckergehalt der Rübe bis auf 12—15% zu erhöhen. Bei der Zuckergewinnung kommt es darauf an, diesen Zucker aus den Zellen der Rübe herauszuziehen, die anderen Inhaltsstoffe der Zelle zu entfernen und schließlich den gereinigten Zucker einzudicken und in richtiger Weise kristallisieren zu lassen. Außer der Zuckerrübe liefert Zucker bekanntlich auch das Zuckerrohr (Saccharum officinarum). „Rohrzucker" ist chemisch derselbe Stoff wie Rübenzucker. Das Zuckerrohr ist ein hohes Gras, das in tropischen Gegenden gedeiht. Seine Stengel sind nicht hohl, wie sonst bei Gräsern, sondern mit einem festen Mark erfüllt. Durch Zerquetschen und Auslaugen mit Wasser wird aus ihm der Rohrzucker gewonnen.

II. Faser- und Gespinstpflanzen.

Der Körper der Pflanze setzt sich aus kleinsten Bausteinen, den Zellen zusammen. Nur teilweise haben diese die Gestalt von Kämmerchen; oft entwickeln sie sich in einer Richtung ganz besonders stark und wachsen zu langen Schläuchen, ja schließlich zu faden- oder faserähnlichen Gebilden heran. In diesen Formen haben sie verschiedene Aufgaben im Leben der Pflanze zu erfüllen, und solche Faserzellen sind seit langen Zeiten vom Menschen ausgenutzt worden, um Gespinste und Gewebe herzustellen. Die heute benutzten Pflanzenfasern sind mit geringen Ausnahmen entweder Pflanzenhaare oder Festigungsorgane.

Wenn einzelne Zellen der Oberhaut der Pflanze in die Luft hinein auswachsen, so entstehen Haare, die die ganze Pflanze wie in ein Pelzchen einhüllen können. Das Haarkleid dient der Pflanze als Schutz gegen zu starke Sonnenbestrahlung und gegen die austrocknende Wirkung trockner Winde. Solche Schutzhaare bleiben aber immer so klein, daß sie keine technische Verwertung finden können. Weit größeres Ausmaß aber erreichen die Haare, die sich auf der Oberhaut der Samenkörner bei verschiedenen Pflanzen ausbilden und als Flugorgane für die Samenverbreitung dienen. Unser deutsches Weidenröschen (Epilobium) z. B. besitzt solche Flughaare auf seinen Samenkörnern, und im Hochsommer und Herbst kann man sehen, wie die Samen aus den aufspringenden Kapseln vom Winde weit fortgeführt werden, mit Hilfe ihres Haarschopfes wie mit Fallschirmen segelnd. Die Pappeln und Weiden sind andere Beispiele für behaarte Samen aus der einheimischen Pflanzenwelt. Aber in diesen beiden Fällen sind die Haare verhältnismäßig klein und ihre wirtschaftliche Ausbeutung würde sich nicht lohnen. Ganz anders liegt das nun bei der Pflanze, deren Samenhaare zu einer Weltware ersten Ranges geworden sind, der Baumwolle. Diese liefert den weitaus größten Anteil aller Gewebe, die heute auf der Erde erzeugt werden. Die Baumwollpflanze ist in mehreren Arten und Rassen seit langem in Kultur. Sie gehört zur Familie der Malvengewächse, ihr wissenschaftlicher Name ist Gossypium. Ihre Heimat ist wohl Indien, aber sie ist seit den ältesten Zeiten im ganzen Süden Asiens und auch in Amerika verbreitet. Sie wird in riesigen Plantagen angebaut, wo es das Klima zuläßt. Die Baumwollpflanze verlangt viel Sonne und eine gleichmäßige Wärme; Regen nur in der Zeit ihres Heranwachsens. Durch künstliche Bewässerung wird in regenarmen Landstrichen der fehlende Niederschlag ausreichend ersetzt. Vier bis sechs Monate braucht die Pflanze zur Reife. Aus den großen, schönen, weiß, gelb oder rot gefärbten Blüten entwickeln sich dann große Samenkapseln, in deren Inneren die Samenkörner, umhüllt von den weißen Baumwollfasern, liegen. Samen und Fasern werden nach der Ernte mit Maschinen getrennt und die Fasern in große Ballen gepreßt. Jede einzelne Baumwollfaser entspricht einer Zelle. Sie ist hohl, korkzieherartig gedreht und an der einen Seite offen, da sie ja von dem Samen abgerissen wurde. Mit dem Mikroskop ist eine Baumwollfaser mit Sicherheit von anderen pflanzlichen und tierischen Fasern zu unterscheiden. Chemisch besteht die Baumwolle aus sehr reiner Zellulose. Durch Behandlung mit chemischen Mitteln kann man die Baumwollfaser glatt und glänzend machen, man nennt die Verfahren merzerisieren. Die aus Baumwolle oder aus Holz gewonnene Zellulose kann man zu einer dicklichen Flüssigkeit auflösen, die dann aus feinen Spritzrohren ausgeblasen wird. So erhält man nach weiterer ziemlich verwickelter Behandlung die Kunstseide.

Der Anbau der Baumwolle ist heute zu beiden Seiten des Tropengürtels der Erde einer der wichtigsten Zweige der Landwirtschaft geworden. Die weitaus größte Menge an Baumwolle erzeugen die Vereinigten Staaten, dann folgen Indien und Ägypten.

Außer der Baumwollpflanze liefert uns kein anderes Gewächs Pflanzenhaare, die als Spinnfasern in Frage kommen. Wohl aber finden die Samenhaare einiger weiterer tropischer Pflanzen als Polstermaterial, als sogenannte Pflanzendunen, Verwendung. Da ist zu nennen der Kapok, gewonnen aus den Pflanzenhaaren tropischer Urwaldbäume aus den Gattungen Eriodendron und Bombax.

Zum Spinnen sind diese Fasern zu zart und zerbrechlich, dagegen eignen sie sich sehr gut als Polstermaterial, da sie sich nach starkem Druck immer wieder auflockern. Zu gleichem Zwecke dient die Pflanzenseide, die aus Samenhaaren von tropischen Asklepiadazeen hergestellt wird.

Außer den Pflanzenhaaren sind es, wie erwähnt, Festigungszellen, die uns den Rohstoff für Gespinstfasern liefern. Eine jede Pflanze, die sich über die Größe winziger Algen, Moose und Flechten erhebt, muß ihrem Körper eine gewisse Festigkeit verleihen, wenn sie nicht dem Winddruck oder den Tritten der Tiere erliegen will. So finden wir denn bei mikroskopischer Betrachtung in jeder Pflanze, vom kleinsten Hungerblümchen bis zum Urwaldriesen, bestimmte Zellen, die der Festigung des Pflanzenkörpers dienen. Meist sind sie zu Bündeln, sogenannten Faserbündeln oder Bastbündeln, vereinigt. Man hat nachweisen können, daß die Anordnung dieser Bastbündel im Pflanzengewebe durchaus den Gesetzen der Mechanik entspricht und im Grunde ganz so erfolgt, wie ein Ingenieur bei einem verwickelten Bau die Träger und Stützen zur Festigung anbringen würde. Es wird niemanden verwundern, der etwas Einblick in das Getriebe der Natur erlangt hat, daß die Leistung dieser pflanzlichen Konstruktionen bei weitem die der menschlichen Bauten übertrifft. Man vergegenwärtige sich, was ein Getreidehalm als technisches Gebilde bedeutet. Denkt man ihn sich so hoch wie das Ulmer Münster, 161 m, so betrüge sein Durchmesser am Grunde 38—45 cm! Dieser Halm trägt nun nicht nur sich selbst, sondern auch die reife Ähre, die das Doppelte wiegt, wie er selbst. Unsere schlanksten Funktürme sind unendlich plump gegenüber solchen technischen Leistungen der Natur.

So weit verbreitet nun auch die Faserzellen im Pflanzenreiche sind, so sind es doch nur wenige Gewächse, aus denen man sie in der für Gespinste geeigneten Ausbildung gewinnen kann. Als weitaus wichtigste Bastfasern liefernde Pflanzen erwähnen wir den Lein oder Flachs und den Hanf. Der Lein liefert die wertvollste Pflanzenfaser. Er ist eine uralte Kulturpflanze. Außer der Art, die uns heute allein die Leinenfaser liefert — Linum usitatissimum —, wurde in vorgeschichtlicher Zeit ein anderer Lein, Linum angustifolium, gebaut. Schon in der Steinzeit finden wir den Flachs; die Kenntnis von der Verwendbarkeit der Flachsfasern muß also schon sehr früh entstanden sein. Die Verarbeitung der Leinfaser beansprucht eine bedeutende technische Fertigkeit, und der Weg vom blaublühenden Flachsfeld bis zum weißen Leinentuch ist recht verwickelt. Die Bastfasern liegen im Stengel der Leinpflanze in den äußeren Gewebeschichten ringsum verteilt. Dickwandige, lange Zellen sind zu Bündeln vereinigt. Die Aufbereitung hat zuerst diese Faserbündel von dem sie umgebenden Gewebe, das nicht mit versponnen werden kann, zu befreien. Dazu werden die Pflanzen entweder mit chemischen Mitteln behandelt oder aber man läßt sie nach altem Herkommen im Wasser oder auf feuchten Wiesen ausgebreitet faulen. Dieser Faulprozeß, „Röste" genannt, läßt ganz bestimmte Bakterien aufkommen, die den Kitt, der die einzelnen Zellen miteinander verbindet, angreifen. Man hat diese Röstebakterien auch in Reinkultur gezüchtet und praktisch angewendet. Die so aus dem Gewebeverband gelösten Fasern werden nun getrocknet, gehechelt und schließlich versponnen.

Der Hanf (Cannabis sativa) ist ebenfalls eine alte Kulturpflanze. Seine Fasern sind gröber, aber meist länger als die des Flachses. Aus der Hanffaser werden

vor allem Seilerwaren hergestellt. Neuerdings vermag man die Hanffaser durch bestimmte Behandlungsweise der Baumwollfaser ähnlich zu machen. Dieses Verfahren der „Kotonisierung" ist vielleicht berufen, uns bei Steigerung des eigenen Hanfanbaus weitgehend von der Baumwolleinfuhr unabhängig zu machen. In südlichen Gegenden wird der Hanf vielfach nicht als Faserpflanze angebaut, sondern um aus ihm ein narkotisches Genußmittel, den Haschisch, zu gewinnen.

Der Anbau von Flachs und Hanf hat in letzter Zeit für Deutschland eine weit größere Bedeutung gewonnen, als man vor dem Kriege ahnte. Nachdem uns die Hauptlieferanten für Flachs, Rußland, Holland, Belgien und Irland, lange Zeit verschlossen waren und das Hauptflachsland, Rußland, auf Jahre hinaus seine frühere Flachserzeugung nicht erreichen kann, wurde der früher in Deutschland weit verbreitete Flachs- und Hanfbau zu neuem Leben erweckt. Augenblicklich ist einerseits die Saatzucht eifrig bestrebt, Sorten von Flachs und Hanf zu züchten, die auf deutschem Anbaugebiete gute Erträge liefern, andererseits arbeitet die Industrie an neuen Wegen der Verarbeitung der Fasern.

Neben Baumwolle, Flachs und Hanf spielen die übrigen Faserpflanzen auf dem Weltmarkt eine geringere Rolle. Immerhin befinden sich darunter einige tropische Gewächse, deren Fasern in letzter Zeit eine größere Bedeutung erlangt haben; an Güte stehen diese Fasern gegenüber den zuerst genannten meist zurück. Da ist zu nennen die Ramie oder Nesselfaser, gewonnen aus einer in Ostasien gebauten Pflanze, Boehmeria nivea, die mit unserer Brennessel verwandt ist. Auch diese letztere liefert übrigens eine spinnbare Faser. Die Jute ferner, von Pflanzen aus den Familien der Malven und Lindengewächse stammend, ist als Ersatz für Hanfgewebe heute weit verbreitet. Sisalhanf wird gewonnen aus den riesigen Blättern von Agaven. Der sogenannte Manilahanf wird gewonnen aus den Blattstielen einer Banane, Musa textilis. Der neuseeländische Flachs und die Sanseviera faser stammen aus den Blättern von Liliengewächsen und liefern vor allem Seilerwaren. Mit der Kokosfaser, die in den Tropen vielfach Anwendung findet, gelangen wir zu den gröberen Pflanzenfasern, die zu besseren Geweben nicht mehr tauglich sind. Die Kokosfaser, die das Material für Läufer und Matten liefert, stammt aus der Faserhülle der Kokosnüsse. Auch von anderen Palmen werden grobe Fasern gewonnen, z. B. der Raphiabast, den der Gärtner benutzt, die Piassavafasern, aus denen Besen hergestellt werden, schließlich auch das Rohr, das zum Flechten unserer Rohrstühle benutzt wird. Es ist die Rinde einer Kletterpalme, Calamus Rotang. Der beim Schälen übrigbleibende Holzkörper liefert das Peddigrohr zu Korbmöbeln. Das Panamastroh endlich, aus dem die echten Panamahüte geflochten werden, wird durch Zerschlitzen der jungen Blätter der Carludovica gewonnen, einer südamerikanischen, palmenähnlichen Pflanze.

III. Nutzhölzer.

Einer der wichtigsten Rohstoffe, die uns das Pflanzenreich liefert, ist das Holz.

Das Holz, das der oberflächlichen Betrachtung als eine ziemlich gleichförmige Masse erscheint, ist in Wahrheit ein höchst verwickelt aufgebautes Gebilde. Es ist entstanden durch das Dickenwachstum mehrjähriger Pflanzen, und wie jeder

Pflanzenkörper baut sich auch der Baumstamm in seinem Innern aus Zellen auf. Diese Zellen zeigen unter dem Mikroskop die verschiedenste Gestalt, und man hat ihre verschiedenen Leistungen für das Leben des Baumes nachweisen können. Da gibt es Zellen, die schlauchartig, langgestreckt der Leitung von Wasser und Nährstoffen dienen. Andere, durch dicke Wände kenntlich, haben die Festigkeit des Stammes zu besorgen. Auch Speicherzellen für Reservestoffe sind vorhanden, denn der Stamm dient auch als Speicherorgan für die Zeiten der Vegetationsruhe. Manche Zellenzüge können als Drüsenorgane bezeichnet werden, sie scheiden verschiedenartige Harze aus. Die Zellenzüge, die im Stamm im allgemeinen längsgestreckt laufen, werden der Quere nach durchsetzt von den sogenannten Markstrahlen, die dem bloßen Auge als „Spiegel" im Holz erscheinen. Solange der Baum lebt, sind auch oft tief im Stamm einzelne Zellen am Leben und wechseln mit toten, aber doch nicht bedeutungslosen, in der verwickeltsten Weise ab. Wenn der Zimmermann, der Tischler und Drechsler auch nicht gerade die mikroskopische Holzanatomie zu beherrschen braucht, so muß er doch die wechselnden Eigenschaften der verschiedenen Hölzer genau kennen. Lang, tragkräftig und dauerhaft muß ein Holz für Hochbauten sein, wie es vor allem die Eiche, aber auch Kiefer, Tanne und Lärche liefert. Als Bestandteil von Maschinen und Wagen wird zähes, hartes Holz gefordert, man wählt dazu Esche, Buche oder Ulme. Hart und dicht soll das Holz für Drechslerwaren sein, wie z. B. Buchsbaum, Birnbaum und das Pockholz, aus dem die Kegelkugeln gedreht werden. Weiche Hölzer, wie Linde und Ahorn, verwendet der Holzschnitzer. Zu Möbeln endlich finden die verschiedensten Hölzer Verwendung, die sich durch schöne Farbe, auffällige Maserung und gute Polierbarkeit auszeichnen.

Abb. 205. „Ulmensterben".
Sterbender Baum an einem Kanal bei Utrecht.

Das Nutzholz ist ein so wertvoller und notwendiger Stoff, daß man schon lange versucht hat, seine Haltbarkeit zu erhöhen. Zerstört wird das Holz vor allem durch die Angriffe von Pilzen und verschiedenen Tieren, und da wir gegen diese Schädlinge bewährte chemische Mittel haben, so hat sich die Technik des Holzschutzes in enger Verbindung mit der Botanik hoch entwickelt.

Bekannt ist als Holzzerstörer der berüchtigte Holzschwamm, Merulius domesticus, der deshalb so gefährlich ist, weil er mit seinen Fäden völlig lufttrockenes Holz durchwachsen kann. Das Wasser, das er wie alle Pflanzen zum Leben

notwendig braucht, erzeugt er sich selbst durch chemische Umsetzung der Holzsubstanz. Andere zahlreiche Pilze sind auf bereits vorhandene Feuchtigkeit angewiesen, aber diese läßt sich oft nicht vermeiden, z. B. in Bergwerken, bei Eisenbahnschwellen und Telegraphenstangen. Von Tieren greifen das Holz die Larven verschiedener Insekten an, in den Tropen vor allem die Termiten und bei Holzbauten im Meere der Bohrwurm, der aber kein Wurm, sondern eine Muschel ist.

Als Schutzmittel gegen die Pilze und Tiere verwendete man früher Anstriche von Ölen, Lacken, auch wohl von Teer und Karbolineum, die sich aber als wenig wirksam erwiesen haben. Auch das Tränken in großen Bottichen genügt noch

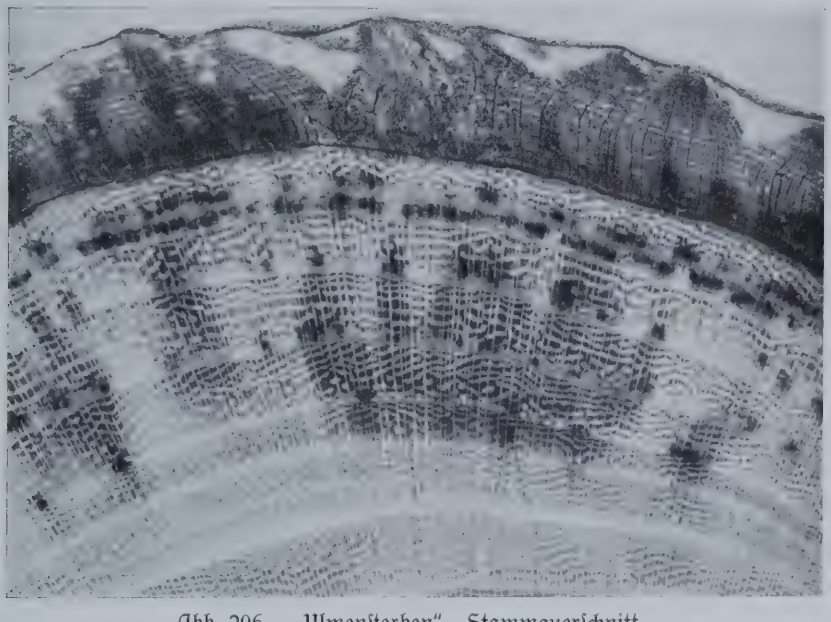


Abb. 206. „Ulmensterben". Stammquerschnitt.
Die dunklen Flecken weisen auf die Erkrankung hin.

nicht; man muß Druck zu Hilfe nehmen, um die Schutzmittel in das Holz hineinzupressen, so daß, auch wenn nachträglich Spalten im Holze auftreten, der Schutz gewährleistet ist. Als Holzschutzmittel werden verwendet: Sublimat, Zinkchlorid, Teeröle, Fluorverbindungen und Dinitroverbindungen des Phenols und Anilins. Die neuzeitlichen Holzschutzmittel erhöhen die Lebensdauer des Holzes ganz beträchtlich. So stellte man z. B. durch Versuche fest, daß Telegraphenstangen ungeschützt im Durchschnitt 7,9 Jahre brauchbar blieben, mit Teerölen getränkt aber 27,9 Jahre. Buchene Eisenbahnschwellen hielten ungeschützt $2^1/_2$—3 Jahre, imprägniert 30 Jahre.

Auch die Forschung des Holzschutzes ist heute noch in reger Weiterentwicklung begriffen. Einerseits sucht man nach wirksamen Mitteln, die die Verwendung ausländischer Rohstoffe, z. B. der teuren Quecksilbersalze, unnötig machen. Andererseits stellen bestimmte Gebiete der Verwendung verschiedene Ansprüche an die Holzschutzmittel, denen noch nicht jedes der bisher bekannten genügt. Man kann heute die holzzerstörenden Pilze rein züchten und hat es so in der Hand, die Wirksamkeit der verschiedenen Schutzmittel im Laboratorium zu prüfen.

IV. Gartenblumen und Zierpflanzen.

Der Sinn für die Schönheit der Pflanzen wohnt dem Menschen zweifellos seit den frühesten Tagen der Vorgeschichte inne. Nicht viel später als die Erkenntnis des Nutzwertes der Pflanzen für den harten Kampf ums Dasein mag die Freude an der Schönheit bunter Blumengewinde und seltsam geformter Samen und Früchte entstanden sein. Was uns heute an Gartenblumen und Zierpflanzen erfreut, das ist das Ergebnis einer Jahrtausende alten Entwicklung, und in unserem Gartenbau spiegelt sich die weltumfassende Kultur des Menschen wider. Das gilt nicht nur von den großen Parks voll fremder Gehölze und von den prächtigen Blumenläden der Großstädte, sondern das kleinste Bauerngärtchen, der bescheidenste Blumentisch der Arbeiterwohnung enthält Gäste fernster Länder und Zeiten.

Was wir für die landwirtschaftlichen Gewächse sagten, das gilt auch für die Gartenpflanzen. Wir finden die Formen, die heute unsern Garten zieren, meist nirgends mehr in wildem Zustande; sie sind im Lauf einer langen Geschichte in der Hand des Menschen umgewandelt worden, sie sind Kulturpflanzen geworden.

Von der Gartenkunst des Altertums haben wir nur eine schattenhafte Kenntnis. Auf den zierlichen Plastiken von Tel el Amarna in Ägypten erfreut sich der Pharao, Amenophis IV., an dem Duft von Lotosblumen, die ihm seine junge Gemahlin reicht. Wir wissen von gemauerten Teichen, in denen Wasserpflanzen gezüchtet und Wasservögel gehalten wurden. Ein assyrisches Relief zeigt uns eine Weinlaube, in deren Schatten der König ruht und den Becher leert. Die hängenden Gärten der Semiramis kennt jedermann, aber ein deutliches Bild von ihnen können wir uns nicht machen. Was die Väter der wissenschaftlichen Botanik, die Griechen Theophrast und Dioskorides, uns erzählen, ist uns nicht mehr verständlich, denn ihren Pflanzennamen können wir keine sichere Deutung mehr geben. In den berühmten Gärten eines Sallust, Maecenas und Lucullus in Rom finden wir schon Gartenblumen, die uns, wie Rose und Lilie, heute noch vertraut und wohlbekannt sind. Der Ursprung der Rose, der unbestrittenen Königin des Gartens, wird wohl nie ganz aufgeklärt werden. Die Form der Rose, die das Altertum allein kannte, war die der Zentifolie; entstanden ist sie wohl aus einer in den Ländern des Mittelmeeres wildwachsenden Art, Rosa gallica. Im Laufe der Jahrhunderte kamen nun aus allen Teilen der Welt neue Arten hinzu. Bei der Leichtigkeit, mit der sich die Rosen kreuzen lassen, entstand so die unentwirrbare Formenmannigfaltigkeit, von der uns heute ein „Rosarium" Kunde gibt. Aus Persien stammen die gelben Rosen; eine ostasiatische Form, Rosa chinensis, lieferte die Tee- und Monatsrosen. Die jüngsten Rosensorten, die reizenden, reich blühenden Kletterrosen, wie z. B. der „Crimson Rambler", sind z. T. aus Japan als Gartenformen eingeführt. Die weiße Lilie stammt jedenfalls aus Syrien; die Feuerlilie dagegen, eine Bewohnerin der Alpen, war dem Altertum noch unbekannt. Heimisch in den Gärten des Altertums war aber schon die Levkoie, freilich wohl noch nicht die gefüllte; ferner der Goldlack, der Mohn, die Narzisse und die Schwertlilie. Das sind Pflanzen des Mittelmeeres, ihre Gartenformen hatten aber damals nicht im entferntesten die Mannigfaltigkeit wie heute.

Im Mittelalter wird nun das Bild des Blumengartens schon bunter. Die Klöster waren es, die mit dem wissenschaftlichen und künstlerischen Erbe der Antike auch ihre Gartenblumen übernahmen und weiterpflegten. Im deutschen Klostergarten des Mittelalters finden wir die soeben erwähnten Zierblumen des antiken Mittelmeergebietes wieder, dazu noch, aus der gleichen Herkunft: Löwenmaul, Päonie und Calendula, die Ringelblume; — Ringula nennt sie die heilige Hildegard, die uns im zwölften Jahrhundert eine Schilderung ihres Klostergärtleins hinterlassen hat. Andere Quellen für die Kenntnis des deutschen Gartens im Mittelalter sind Kaiser Karls „Capitulare de villis" und die Schriften des Albertus Magnus. Ein ganzes Lehrgedicht über den Gartenbau schrieb schon im neunten Jahrhundert der Benediktinermönch Walafried Strabo auf der Insel Reichenau. Da finden wir nun außer dem Blumenbestand der Antike als wichtige Bereicherung die schönsten Blumen der deutschen Wälder und Wiesen, die unsere germanischen Vorfahren wohl schon lange in ihren Hausgärten züchteten und die ihre Söhne, wenn sie die Kutte nahmen, im Klostergarten nicht missen wollten. Dazu gehören z. B.: Veilchen, Schneeglöckchen, Maiblume, Gelbe Aurikel, Tausendschönchen, Christrose, Akelei, Rittersporn, Schneeball, Geißblatt. Sie wandelten sich nun auch teilweise zu Gartenformen um, und wenn wir um 1560 den fleißigen Conrad Gesner von Zürich hören, der gutgläubig und gelehrsam vielerlei Merkwürdigkeiten aus dem Pflanzen- und Tierreich beschrieb, so ist die Liste schon wieder reichhaltiger geworden. Hinzugekommen ist jetzt z. B. das Stiefmütterchen und die Nelke. Die letztere, im Altertum anscheinend unbekannt, mag sich im Mittelalter aus einer wilden Form Italiens und Dalmatiens entwickelt haben. Bekannt sind die drei Nelken auf Jan van Eycks berühmtem Porträt, das ums Jahr 1440 gemalt ist. Man erkennt hier deutlich, wieviel einfacher und bescheidener die Blume damals war als ihre heutigen Nachkommen. Und doch muß sie den Maler irgendwie durch ihre Neuheit oder Schönheit zur Darstellung gereizt haben.

Um das Jahr 1600 beginnt nun ein neuer Abschnitt in der Geschichte des Gartenbaus. Durch die Einführung zahlreicher orientalischer Gartenpflanzen erfährt der deutsche Garten eine gewaltige Bereicherung. Wir sind über diesen Zeitabschnitt bereits recht gut unterrichtet, denn der niederländische Leibarzt am kaiserlichen Hofe in Wien, Clusius, ein eifriger Blumenliebhaber und Förderer der Einfuhr fremder Zierpflanzen, hat uns eine genaue Schilderung der damaligen Blumenzucht hinterlassen. Damals kam die Tulpe zu uns, die Kaiserkrone, Hyazinthe und Scilla. Später folgten dann aus dem Orient Reseda, Flieder und Roßkastanie. Vor allem die farbenprächtige Tulpe kam der Prachtliebe des Barock wunderbar entgegen und wurde bald zu einer Modeblume ohnegleichen. In Holland, wo damals der Grund gelegt wurde zu der noch heute weltberühmten Zwiebelblumenzucht, wurde sie zu einem Gegenstand der Protzerei und Spekulation.

Gewaltig war jetzt der Gesichtskreis des Menschen erweitert worden durch die überseeischen Eroberungen, in denen die bedeutendsten Länder Europas miteinander wetteiferten, und bald brachten die Flotten Spaniens, Portugals und Hollands außer Schätzen und Handelsartikeln auch neue, seltsame Zierblumen und Gehölze mit, die, soweit sie aus einem dem mitteleuropäischen ähnlichen Klima stammten, die heimischen Parks und Gärten bereicherten. Aus Nordamerika kamen

eine große Anzahl von Bäumen, ohne die wir uns heute einen Park nicht mehr denken können: der Lebensbaum, Thuja occidentalis, die Weymouthskiefer, die Robinie, meist Akazie genannt, der Tulpenbaum, die rote Kastanie, der wilde Wein, die Weigelie und die Schneebeere, Symphoricarpus racemosus. An Gartenblumen haben wir Nordamerika zu verdanken: die Goldrute, Rudbeckie, viele Asternarten und die Nachtkerze, Oenothera. Die letztere ist heute längst keine geschätzte Gartenpflanze mehr, sondern ein häufiges Unkraut, das sich die sandigen Flächen unseres Gebietes erobert hat und uns hier zusammen mit der ebenfalls nordamerikanischen Akazie mehr Freude als Plage schafft. Nicht das gleiche läßt sich sagen von einigen anderen nordamerikanischen Pflanzen, die zuerst in Botanischen Gärten als Seltenheiten eingeführt, jetzt zu bösartigen Unkräutern geworden sind, die sich ohne Schwierigkeit zwischen die europäische Pflanzenwelt eingeschoben haben. Die kanadische Wasserpest z. B., die im Anfang des neunzehnten Jahrhunderts aus dem Berliner Botanischen Garten „ausbrach", verbreitete sich mit erschreckender Schnelligkeit in allen europäischen Wasserläufen. Erigeron canadensis, Oxalis stricta und das Franzosenkraut, Galinsoga parviflora, aus Peru stammend, sind solche ungebetene amerikanische Gäste, die unsere Gärten mit in Kauf nehmen mußten. Unter den Unkräutern, die aus dem wärmeren Klima Mittelamerikas zu uns gekommen sind, befinden sich zwei Pflanzen, die heute fast zu Charakterpflanzen Südeuropas geworden sind, der Feigenkaktus, Opuntia, und die Agave. Beide sind heute in Italien und auf der Balkanhalbinsel allenthalben verwildert zu finden, der klassischen römischen und griechischen Landschaft sind sie aber noch fremd.

Früher noch als Nordamerika trug das einige Zeit vorher erschlossene Mittel- und Südamerika zur Bereicherung unserer Blumengärten bei. Aus Chile und Südbrasilien kam die Fuchsie zu uns. Mehrere Arten wurden eingeführt und entwickelten in mannigfaltigen Kreuzungen die Fülle unserer heutigen Gartenformen. Viele unserer schönen Sommerblumen stammen aus der südamerikanischen Flora: die Sonnenblume, die aus Peru im Jahre 1560 eingeführt wurde, die Kapuzinerkresse, Heliotrop, Verbenen, Zinnien, Petunien. Zwei höchst wichtige Gartenblumen, die in zahlreichen Kreuzungen unsere Teppichbeete schmücken, kamen ebenfalls aus Südamerika: das Blumenrohr, Canna, und die Begonie. Aus Mexiko erhielten wir die Georgine oder Dahlie. Sie war schon eine Gartenpflanze und hatte eine lange Kultur hinter sich, als die Spanier in Mittelamerika eindrangen. Wenig wissen wir sonst von dem Gartenbau der alten Mexikaner. Die Spanier, die ihre Kultur zertraten, brachten mit den geraubten Gold- und Edelsteinschätzen auch die Dahlie nach Europa. Heute grüßt uns die schöne Herbstblume als letztes Vermächtnis eines dahingeschwundenen Volkes.

Gleichzeitig mit der Einfuhr neuer Blumen aus Amerika brachte nun auch der Handel mit Ostindien die Bekanntschaft mit der Blumenwelt Süd- und Ostasiens. Teils als Gartenformen aus den alten asiatischen Kulturen, teils als wilde Pflanzen kamen da manche unserer heute überall verbreiteten Zierblumen nach Europa. Das Chrysanthemum sei zuerst erwähnt, Japans Wappenpflanze. Seit 300 vor Chr. in Japan, seit 500 vor Chr. in China als Gartenpflanze bekannt, kam es schon in hochkultiviertem Zustande zu uns. Die wilde Stammpflanze ist mit Sicherheit heute

nicht mehr aufzufinden, man vermutet sie am Jangtsekiang. Unsere heutigen Sorten sind durch Kreuzung entstanden oder durch Abfangen von sogenannten Sproßmutationen, d. h. von Trieben, die aus unbekannter Ursache anders gefärbte und geformte Blüten tragen, als die übrige Pflanze. Durch Stecklinge lassen sich solche Zweige leicht vermehren. Ostasiatisch sind ferner unsere schönsten Azaleen und Rhododendren. Beide Pflanzen, einander nahe verwandt, kommen in verschiedenen Arten am Kaukasus, in Amerika und in Zentralasien vor. Unsere Gärten beherbergen Kreuzungen aus diesen drei Herkunftsgebieten. In unseren Parks finden wir die Magnolie und die Forsythia als ostafrikanische Gäste, von dort stammt auch die schöne Glyzine, ferner die Hydrangeen und Kamellien unserer Wintergärten.

Gegen die Bereicherung unserer Gartenflora durch amerikanische und asiatische Blumen ist der Beitrag Afrikas und Australiens verschwindend gering. Der letztere Weltteil hat zwar unseren Botanischen Gärten eine große Menge eigenartiger Gewächse geliefert, die als „Neuholländer" kultiviert werden: Eukalypten, Akazien, Myrthengewächse, Proteazeen. Eine größere Bedeutung für den Gartenbau hat aber bisher kaum eine dieser Pflanzen gewonnen. Afrika besitzt in seiner eigenartigen und formenreichen Kapflora eine ganze Anzahl Gewächse, die bei uns wenigstens im Sommer im Freien aushalten. Zwei bekannte Zierpflanzen kommen vom Kap, die Gladiole und die Pelargonien (Geranien). Letztere sind aus einigen wilden Arten, vor allem in England, zu großem Formenreichtum herangezüchtet worden. Von den Kanarischen Inseln schließlich stammt die Zineraria, die erst in allerletzter Zeit aus einer unscheinbaren Blume zu größter Farbenpracht sich entwickelt hat.

So sehen wir, wie der ganze Erdball beigesteuert hat zu dem Blumenschmuck, der uns heute im Garten oder am Fenster erfreut. Ist damit nun der Blumenvorrat der Erde erschöpft? Haben wir, da unsere Erde in allen Zonen, die Pflanzenwachstum zulassen, durchforscht ist, auf keine neuen Formen für unsere Gärten mehr zu hoffen? Ja, — und nein! Daß noch unbekannte Zierpflanzen entdeckt werden, die für die Blumenzucht Bedeutung gewinnen können, ist nicht anzunehmen. Wohl aber dürfen wir hoffen, daß die Pflanzen, die wir bereits besitzen, in immer neuen Formenkreisen in der Hand des Züchters sich entwickeln, uns immer neue Schönheiten zu genießen geben in der unerschöpflichen Mannigfaltigkeit, die dem Leben eigen ist.

V. Genußmittel.

Unter den pflanzlichen Erzeugnissen, die uns die Natur darbietet, finden sich solche, die zwar keinen Nährwert haben, aber doch überall auf der Welt genossen werden, weil sie dem Menschen Anregung, Wohlbehagen, Steigerung der Lebensfreude bringen. Diese „Genußmittel" hat der Naturmensch überall schon seit undenklichen Zeiten mit einem bewundernswerten Spürsinn aus der Fülle der ihn umgebenden Pflanzenwelt herausgefunden.

Die anregende Wirkung dieser Genußmittel beruht entweder auf dem Alkohol oder auf chemischen Körpern, die wir zu den sogenannten Alkaloiden rechnen. In größeren Mengen sind alle Genußmittel giftig, in geringen Gaben wirken sie auf das Nervensystem in der bekannten eigenartigen Weise ein. Sie beseitigen Hem-

mungen und erleichtern dem Menschen für kurze Zeit die Mühsal und die Sorge des Tages. Es ist eigenartig, daß das Bedürfnis nach solcher zweifelhaften Stütze im Lebenskampf nicht etwa nur ein Zeichen einer überfeinerten, dekadenten Kultur ist, sondern daß es sich auch bei den primitivsten Volksstämmen, die noch in ungebrochener Körperkraft leben, weit verbreitet findet.

Bei dem großen Weltbedarf an Genußmitteln sind die Pflanzen, die sie uns liefern, zu hochwichtigen Kulturgewächsen geworden, auf deren Anbau, Pflege und Nutzung viel Arbeit verwendet wird.

Um mit den alkaloidhaltigen Genußmitteln zu beginnen, erwähnen wir als bei weitem verbreitetstes den Kaffee. Die Kaffeebohnen, die wir verwenden, sind die Samen von Bäumen, die heute in allen tropischen Ländern der Erde angebaut werden. Ursprünglich wuchs der Kaffeebaum, Coffea arabica, wild in Abessinien. In der Wildnis ist der Kaffeebaum ansehnlich hoch, in der Kultur wird er niedrig gehalten. Er trägt immergrüne Blätter, herrliche, duftende, weiße Blüten und hübsche, kirschrote Früchte, so daß ein Kaffeebäumchen zur Zeit der Reife recht an einen kleinen Kirschbaum erinnert. Im Innern jeder Frucht liegen in einem süßen Fruchtfleisch je zwei Samen, die allbekannten Kaffeebohnen. Aus dem Fruchtfleisch werden die Kaffeebohnen mit Maschinen gelöst und dann gewaschen und getrocknet. Der Kaffeebaum gedeiht nur in höheren Lagen gut, die feuchte Hitze der tropischen Niederungen verträgt er nicht. Als Unterholz findet sich die wilde Stammpflanze in den abessinischen Wäldern, und bei Neuanlagen von Plantagen muß man die jungen Pflanzen durch Schattenbäume schützen, die später wieder entfernt werden. In verschiedenen Kultursorten ist der Kaffee heute ein höchst wichtiges Produkt fast aller tropischen Länder. Bedeutender Kaffeebau findet sich in Vorderindien, Ceylon, Java, Sumatra, Mittelamerika und Brasilien.

Wir übergehen, als nicht gerade zu den Genußmitteln gehörig, die von Gersten- und Rübenfeldern geernteten Kaffeesorten und wenden uns zum Tee. Die Teepflanze, Thea sinensis, ist im wilden Zustand ein ansehnlicher Baum, der noch in entlegenen Wäldern Südchinas und Indiens vorkommt. In der Kultur wird die Pflanze als niedriger Busch gezogen. Schon seit dem neunten Jahrhundert nach Chr. wird der Teestrauch in China und Japan in vielen Sorten gezüchtet. Von allen Genußmitteln wird dem Tee die höchste Würdigung gegönnt. In der „Teezeremonie" dient dem Japaner die Bereitung und der Genuß einer Schale Tee zur Entfaltung aller Feinheiten höchster Kultur, zum Ausdruck einer ausgeglichenen, künstlerischen Lebensauffassung. Wir genießen vom Tee bekanntlich den Aufguß der Blätter, die je nach dem Anbaugebiet mehrmals im Jahre gepflückt werden. Grüner Tee wird gewonnen, indem man die Blätter gleich nach dem Pflücken trocknet; läßt man sie erst in der Wärme eine leichte Zersetzung durchmachen, so erhält man den schwarzen Tee.

Der Kakao zeichnet sich vor allen Genußmitteln vorteilhaft dadurch aus, daß er außer einem anregenden Alkaloid, dem Theobromin, eine erhebliche Menge Nährstoffe in Form von Kohlehydraten und Fett enthält. Der Kakaobaum (Theobroma cacao) ist in Zentral- und Südamerika heimisch als Pflanze feuchter, tropischer Niederungen. Die Nachfrage nach Kakao, die sich in den letzten Jahrzehnten gewaltig gesteigert hat, führte zu einer weiten Verbreitung der Kakaokultur. Außer

in seinem Heimatlande wird jetzt der Kakaobaum auch in Kamerun, im Kongostaat, auf Madagaskar, Zeylon, Java, den Molukken und Philippinen angebaut. Der Kakao, den wir verwenden, ist durch Mahlen der Samen des Kakaobaumes gewonnen. Diese Samen, die Kakaobohnen, sitzen in einer großen, bis 20 cm langen Frucht, die nicht oben im Baum hängt, sondern aus dem Stamm herauskommt. Die aus der Frucht gelösten Kakaobohnen werden zuerst einer Art Gärung unterworfen und dann getrocknet. Vor der Verarbeitung werden sie dann geröstet, und das in ihnen enthaltene Fett, die Kakaobutter, wird durch Pressen entfernt. So entsteht der Kakao des Handels und durch Zusatz von Zucker, Vanille und anderen Gewürzen die Schokolade.

Der Tabak, heute ein Genußmittel von weltweiter Verbreitung, stammt aus Amerika. Er wurde dort schon von den Indianern benutzt, bevor der Erdteil entdeckt wurde. Der Tabak stammt von Pflanzen der Gattung Nicotiana, die zu den Nachtschattengewächsen gehört. Wie die anderen tropischen Nutzpflanzen hat sich heute auch der Tabak rings um den Tropengürtel der Erde verbreitet. Bekannt und geschätzt sind die Tabake aus Niederländisch-Indien. Übrigens wird auch in Deutschland Tabak gebaut, und zwar im Südwesten des Reiches, freilich bei weitem nicht genug für unseren Bedarf! Der anregende Stoff im Tabak, das Alkaloid Nikotin, ist in den Tabakprodukten in wechselnder Menge enthalten; ganz schwere Virginiazigarren führen davon 4—5%.

Das Opiumrauchen hat glücklicherweise nicht die allgemeine Verbreitung des Tabakgenusses angenommen. Opium ist der getrocknete Milchsaft des Mohns (Papaver somniferum). Man ritzt zu seiner Gewinnung die unreifen Kapseln mit Messern an und knetet den daraus hervorquellenden und erhärtenden Saft zu Kugeln. Im Opium sind eine ganze Reihe Alkaloide enthalten, die wichtigsten sind Morphin und Kodein. Beides sind überaus segensreiche Heilmittel in der Hand des Arztes, und so ist das Opium in einzigartiger Weise gleichzeitig ein Segen und eine Geißel für den Menschen geworden.

Von den Pflanzen, die uns alkoholische Getränke liefern, erwähnen wir nur den Weinstock, eine uralte Kulturpflanze. Die Weinrebe, Vitis vinifera, kommt heute noch wild vor vom Kaukasus bis an den Oberrhein. Sie wächst allerdings als wilde Pflanze ganz anders, als wir sie in unseren Weinbergen kennen. Wie die Waldrebe, Clematis, lebt sie im Waldesschatten und klettert oft hoch in die Baumkronen hinauf. Der Weinbau dürfte in Asien entstanden sein. Nach Deutschland gelangte er etwa zu Beginn unserer Zeitrechnung durch die Römer auf dem Wege über Gallien. Mosel- und Ahrtal scheinen die ältesten Weinberge aufzuweisen. Im Mittelalter breitete sich der Weinbau als ein niemals fehlender Zweig der Betätigung der Klöster bis weit nach Norden aus: in Pommern und selbst in Schleswig-Holstein gab es damals Weinberge. Nach dem Dreißigjährigen Krieg ging dann der Weinbau sehr zurück und beschränkte sich auf die Landstriche, deren Klima ihm günstig war. Seit der Mitte des 19. Jahrhunderts entstanden dem europäischen Weinbau schwere Gefahren durch die drei aus Amerika herübergekommenen Schädlinge Mehltau, Peronospora und Reblaus. Kein anderer Zweig landwirtschaftlicher Kultur hatte gegen den Ansturm katastrophaler Krankheiten so um sein Leben zu kämpfen, wie der Weinbau. Auch heute noch, nachdem wir Mittel gegen diese

Schädlinge gefunden haben, entscheidet die Frage, ob sich ihre kostspielige Anwendung noch lohnt, über das Schicksal manches Weinbaugebietes.

Der Weinstock wird in sehr vielen Kulturformen angebaut. Je nach dem Klima, je nach der Verwendung des Ertrages, ob Tafeltrauben, Rosinen oder Wein gewonnen werden soll, müssen die Sorten zum Anbau gewählt werden. Die edelste Sorte des deutschen Weinbaus ist der Riesling, der die wertvollen Rhein- und Moselweine liefert.

VI. Gewürze.

Als Zusatzstoffe zu unseren Nahrungsmitteln verwenden wir die Gewürze, die uns mit verschwindenden Ausnahmen das Pflanzenreich darbietet. Sie haben selbst keinen Nährwert, aber sie sind doch keineswegs überflüssig. Im Laufe der Zeiten hat sich der Mensch so an sie gewöhnt, daß wir heute viele Speisen ohne Gewürze ungenießbar fänden. Selbstverständlich ist ihre übermäßige Anwendung ebenso schädlich wie die jedes nervenreizenden Mittels. Die wissenschaftliche Umgrenzung des Begriffes „Gewürz" ist nicht ganz leicht, da sie von den Nahrungsmitteln einerseits und von den Parfümen andererseits nicht gut abzugrenzen sind. Im gewöhnlichen Leben versteht man unter Gewürzen getrocknete, pflanzliche Produkte, die um ihres Geschmackes oder Geruches wegen den Speisen zugesetzt werden.

Die Verwendung der Gewürze ist uralt. Eine Geschichte der Gewürze würde mancherlei Interessantes ergeben über den Wandel des Geschmackes, der manche Gewürze in Vergessenheit sinken ließ, andere wieder plötzlich in Mode brachte. Die wärmeren Zonen bringen im allgemeinen mehr gewürzhaltige Pflanzen hervor, als das kalte Klima. Schon am Mittelmeer sind viele gewürzhafte Pflanzen zu finden, die eigentlichen Gewürzländer aber sind die Tropen der Alten und Neuen Welt. Als große Kostbarkeit wurden indische Gewürze schon im antiken Kulturkreis des Mittelmeeres verwendet und bis zur Entdeckung des Seeweges nach Ostindien war der Gewürzhandel über Italien und die süddeutschen Städte ein wichtiger Faktor im europäischen Wirtschaftsleben. Gewaltige Vermögen wurden hier durch den Gewürzhandel erworben und die unfreundliche Bezeichnung Pfeffersack für den Kaufmann entstand in dieser Zeit. Bekannt ist, wie dann nach der Erschließung Ostindiens durch die Portugiesen und Holländer durch den Massenanbau und den verbilligten Transport eine schwere Krise im europäischen Gewürzhandel eintrat, der man vergeblich durch Monopole, ja durch rücksichtslose Vernichtung von Plantagen und Erntevorräten zu steuern suchte. Heute sind die kostbarsten Gewürze jener Zeiten sehr entwertet, und für wenige Pfennige kaufen wir beim Krämer, was ehemals ein begehrtes Geschenk für Kaiser und Fürsten war.

Die verschiedensten Pflanzen liefern uns Gewürze und fast alle Organe des Pflanzenkörpers können die ätherischen Öle, Harze oder sonstigen Stoffe enthalten, auf denen die Gewürzwirkung beruht. Die Wurzel findet Verwendung beim Meerrettich, der Wurzelstock beim Ingwer. Der letztere stammt von Zingiber officinalis, einer in den Tropen Ost- und Westindiens angebauten Pflanze. Würzige Blätter liefern uns verschiedene Pflanzen. In frischem Zustand verwenden wir den Schnittlauch und den Estragon. Auch der Waldmeister soll nicht übergangen werden.

Der liebliche Duft, den wir an ihm schätzen und bei der Bereitung der Maibowle verwenden, entsteht erst beim Absterben seiner Blätter; er beruht auf einem Gehalt an dem chemisch wohlbekannten Duftstoff Kumarin. Getrocknet dienen als Blattgewürze die Lorbeerblätter und die Blätter verschiedener Lippenblütler: Thymian, Basilikum und Salbei sind Gewürze aus Großvaters Zeiten; Majoran und Bohnenkraut verwenden wir noch heute. Eine Rinde verwenden wir als Gewürz im Zimt. Er stammt von verschiedenen Bäumen der Gattung Cinnamomum, die in Indien wild vorkommen und ist seit alter Zeit ein hochgeschätztes Gewürz. Schon früh wurde es den Völkern des Mittelmeeres bekannt; seine Herkunft kannten sie freilich nicht und machten sich phantastische Gedanken darüber. Auch Blüten können als Gewürz dienen. So sind die Kapern Blütenknospen eines am Mittelmeer heimischen Strauches, die Gewürznelken sind Knospen von Eugenia caryophyllata, dem Gewürznelkenbaum, der ursprünglich auf den Molukken heimisch war, heute aber im ganzen Tropengürtel der Erde gebaut wird. Die Hauptmasse aller Gewürze aber sind Samen oder Früchte. So unsere alten deutschen Gewürze: Senf, Kümmel, Fenchel, Anis und die Wacholderbeeren und außerdem viele tropische. Als Pfeffer verwenden wir die unreifen, getrockneten Früchte von Piper nigrum, einem in Hinterindien heimischen Strauch. Der Paprika aber, auch spanischer Pfeffer oder Cayennepfeffer genannt, stammt von einer ganz anderen Pflanze Capsicum, aus der Familie der Nachtschattengewächse. Eine Frucht ist auch die Vanille, wenn auch im botanischen Sinne keine Schote, wie sie der Handel nennt. Die Vanille stammt von einer Orchidee, der Vanilla planifolia. Ursprünglich wächst die Stammpflanze in Mexiko, heute ist sie eine weitverbreitete, tropische Kulturpflanze geworden. Die Früchte werden unreif gepflückt. Sie sind völlig geruchlos. Der wundervolle Duft entwickelt sich erst beim Absterben. Man trocknet die Vanillestangen mehrere Wochen lang ganz langsam, dann kristallisiert der Duftstoff, das Vanillin, in staubfeinen Kriställchen auf der Oberfläche aus.

VII. Heil- und Giftpflanzen.

In allen Zonen der Erde hat der Mensch seit undenklichen Zeiten die Erfahrung gemacht, daß gewissen Pflanzen eine wohltätige Heilkraft innewohnt, und die Priester, Medizinmänner und Heilkundigen der wilden Völker benutzten seit jeher solche Pflanzen zur Bereitung von heilkräftigen Tränken. Noch heute sind viele solche Heilpflanzen geschätzt und werden viel verwendet. Die Chemie hat uns über die Natur ihrer wirksamen Bestandteile aufgeklärt Viele Pflanzen gelten freilich nur beim Volk als Heilpflanzen, der Mediziner spricht ihnen keine Wirkung zu. Ob immer mit Recht, bleibt dabei fraglich, denn die chemische und physiologische Erforschung der Heilpflanzen ist ein so schwieriges Gebiet, daß noch vieles darin unbekannt ist. Sehr häufig sind die als Heilpflanzen benutzten Gewächse auch Giftpflanzen, und ihre Verwendung muß mit großer Vorsicht geschehen, um nicht durch zu starke Gaben den menschlichen Organismus zu zerstören, anstatt zu heilen. Die chemischen Stoffe, die wir als Träger der Heilwirkung bei den Pflanzen ansprechen können, sind verschiedener Art. Von größter Bedeutung sind die sogenannten Alkaloide, stickstoffhaltige Körper von verwickelter Zusammensetzung, die man aus

den Pflanzen gewinnen kann. Zu ihnen gehören höchst segensreiche Medikamente, aber auch die unheimlichsten Gifte, die wir kennen. Das Morphin, aus dem Milchsaft des Mohnes gewonnen, erwähnten wir schon. Der giftige Schierling enthält das Koniin. Reich an Alkaloiden und damit an Giftpflanzen sind die Nachtschattengewächse. Einige der gefährlichsten Giftpflanzen unserer einheimischen Flora gehören dazu: die Tollkirsche (Atropa belladonna), das Bilsenkraut (Hyoscyamus niger), der Stechapfel (Datura stramonium). Diese Solanazeen enthalten meist ein Gemisch verschiedener Alkaloide, die ihre Bezeichnung nach den einzelnen Pflanzen der Familie tragen: Atropin, Hyoszyamin, Skopolamin, Nikotin usw. Altbekannt ist auch die Wirksamkeit der Fieberrinde, die von dem tropischen Baum Cinchona succirubra gewonnen wird. Aus ihr werden die Alkaloide Chinin und Cinchonin dargestellt.

Während heute die wirksamen Stoffe der Giftpflanzen nur zur Heilung von Krankheiten eine segensreiche Anwendung finden, wurde früher ihre Giftigkeit viel benutzt zur Tötung von Menschen. Teilweise benutzte man Abkochungen und Extrakte von Giftpflanzen zu Todesurteilen, — bekannt ist ja der Schierlingsbecher, den Sokrates trinken mußte. Noch häufiger aber dienten die Pflanzengifte dem Verbrechen. Noch heute sind ja bei den wilden Völkern Pflanzengifte im Gebrauch; vor allem die Pfeilgifte sind seit jeher bekannt und gefürchtet. Die Kunst, Pfeilgift zu bereiten, ist seit langem auf der ganzen Erde verbreitet. Schon Homer erwähnt vergiftete Waffen. Durch die Tätigkeit der Ethnographen und Pharmakologen sind wir heute über die Zubereitung und Wirkung der meisten Pfeilgifte recht gut unterrichtet. Die Priester und Medizinmänner kennen aus alter Überlieferung die Pflanzen genau, deren Säfte die tödliche Wirkung entfalten. Oft werden sehr viele Pflanzensäfte gemischt, auch faulendes Blut, Gift von Schlangen und der Saft giftiger Insekten werden der unheimlichen Mischung zugesetzt. Das furchtbare Pfeilgift Kurare der südamerikanischen Indianer wird aus Strychnos-Arten gewonnen und wirkt durch seinen Gehalt an Strychnin und Bruzin, zwei überaus gefährlichen Alkaloiden. Die Gifte werden durch Einkochen verdickt und als braune, teerartige Massen in Töpfen oder Kalebassen aufbewahrt.

Die Pfeilgifte wirken nur, wenn sie in die Blutbahn gelangen, dann aber auch schnell und furchtbar. Hilfe gegen sie gibt es nicht. Vor allem das strychninhaltige Kurare tötet seine Opfer unter entsetzlichen Krämpfen, die zu einer Lähmung der Atmungs- und Herzmuskeln führen.

Nicht alle Heilpflanzen sind so giftig, wie die bisher erwähnten. Es gibt auch viele, die weit harmlosere Heilstoffe enthalten, z. B. Bitterstoffe oder die als Glukoside bezeichneten Substanzen, die im Rhabarber, im Fingerhut, im Süßholz wirksam sind. Schließlich werden auch manche Pflanzen ihres Schleimgehaltes wegen gebraucht, wie die Flechte Cetraria islandica, das „Isländische Moos", Leinsamen, Lindenblüten. Andere Heilpflanzen verdanken ihre Wirksamkeit wieder ätherischen Ölen, Harzen oder Gummistoffen. Kurzum, die chemische Natur der in den verschiedenen Heilpflanzen wirksamen Stoffe ist äußerst mannigfaltig und noch keineswegs in allen Einzelheiten erforscht. Man strebt heute danach, die heilkräftigen Stoffe aus der Pflanze in reinem Zustand zu gewinnen, um sie bequem dosieren zu können und um sie dem Apotheker und Arzt in einer handlichen und haltbaren

Form zu liefern. Diese Bemühungen haben nur teilweise einen Erfolg gehabt, denn anscheinend ist die Mischung der verschiedenen Stoffe in der Pflanze so günstig und für die Heilwirkung notwendig, daß die chemischen Präparate die seit alters gebrauchten Drogen doch nicht überall haben ersetzen können.

VIII. Speisepilze.

Abb. 207. Hexenring von Pilzen im Walde.

Eine Mittelstellung zwischen den Nahrungsmitteln und den Gewürzen nehmen die Pilze ein. Einerseits besitzen sie einen großen Vorrat von nahrhaften Stoffen, vor allem Eiweiß, — von denen es allerdings noch nicht ganz sicher ist, wieweit sie der Mensch aufschließen und ausnützen kann. Andererseits werden sie doch meist ihres Wohlgeschmacks wegen verwendet und einzelne von ihnen, wie der Champignon oder der Mousseron, können durchaus als Gewürze bezeichnet werden. Jedenfalls aber ist das Suchen und Zubereiten von Pilzen eine in weiten Kreisen sehr beliebte Betätigung in „Angewandter Botanik". Und ganz mit Recht, denn abgesehen von dem kostenlosen

Abb. 208. Amerikanischer Stachelbeermehltau, verursacht durch den 1905 in Deutschland eingeschleppten Pilz Sphaerotheca mors uvae.

Erwerb nahrhafter Speise ist die Freude am Auffinden der Beute und die Schulung in der Beobachtung der Natur, die das Pilzsammeln mit sich bringt, ein solcher Gewinn, daß man dem Pilzsammeln nur eine möglichst weite Verbreitung wünschen kann.

Die Pilze sind Pflanzen, aber sie weichen in ihrem Körperbau und ihrer Lebenstätigkeit so sehr von den uns geläufigen Pflanzenformen ab, daß eine kurze Beschäftigung mit ihrer Eigenart gerechtfertigt ist. Im Gegensatz zu den grünen Pflanzen können die Pilze die Kohlenstoffverbindungen ihres Körpers nicht aus der Kohlensäure der Luft und dem Wasser mit Hilfe des Sonnenlichtes aufbauen, sondern sie müssen sie als organische Verbindungen aus dem Boden aufnehmen. Sie sind deshalb auf die vermodernden Reste anderer Lebewesen als Nahrungsquelle angewiesen; im tiefen Waldesschatten, im ewigen Dunkel der Bergwerksstollen gedeihen Pilze ganz vortrefflich.

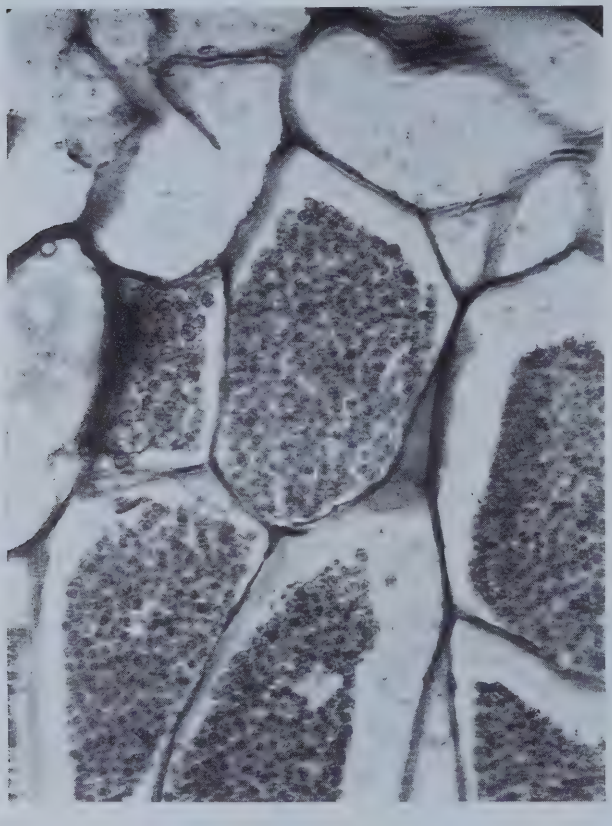


Abb. 209. Kropfkrankheit des Kohls. Sporen des Pilzes Plasmodiophora brassicae im Geschwulstgewebe.

Was wir als Pilze im Walde sammeln, ist nur ein Teil des Pilzkörpers, der Träger der Fortpflanzungszellen. In der modrigen Erde des Waldes lebt, meist unbeachtet, das Geflecht der Pilzfäden, das lange Zeit unter der Oberfläche bleibt, hier alle erreichbaren Nahrungsstoffe mit seinen Zellenzügen umspinnt und aussaugt Erst nach einer ganzen Zeit solchen unterirdischen Lebens bilden sich dann dichte Verflechtungen der Pilzfäden, die sich in geheimnisvoller und noch durchaus unerforschter Weise zu den bekannten Hüten umbilden, die nun ans Tageslicht kommen. Das geschieht gewöhnlich in dem ganzen Pilzgeflecht an vielen Stellen gleichzeitig und wenn das Geflecht sich in einem sehr gleichmäßigen Nährboden genau kreisförmig entwickelt hat, so stehen alle Hüte auf dem Umfang eines Kreises. Solche „Hexenringe" von Pilzen bieten dann oft einen überraschenden, fast unheimlichen Anblick dar. Die Sporen, d. h. die Fortpflanzungszellen der Pilze entstehen in ungeheurer Menge meist auf der Unterseite des Hutes, an dem sogenannten „Futter". Das ist verschieden gestaltet, und der Pilzsammler muß diese Unterschiede genau kennen. Blätterförmig z. B. ist das Futter beim Champignon, röhrenförmig

beim Steinpilz, andere Pilze haben ein stachliges oder runzeliges Futter. Bei manchen endlich entstehen die Sporen nicht auf der Unterseite eines Hutes, sondern auf der Außenseite des Pilzkörpers, z. B. beim Ziegenbart und der Morchel.

Die künstliche Kultur der Pilze spielt vorerst nur beim Champignon eine Rolle. Die Champignonzucht wird als lohnender Erwerbszweig in vielen Gärtnereien betrieben. Vor allem in Paris werden riesige Mengen von Champignons gezüchtet. In unterirdischen Kellern schichtet man Erdhaufen auf, die stark mit Mist vermengt werden, und pflanzt sogenannte Champignonbrut hinein. Das sind nicht etwa Sporen, sondern Pilzgewebe, die in backsteinähnlichen Stüken eines geeigneten Nährbodens gezüchtet werden. Aus ihnen entstehen bald neue Pilzfäden, die den Erdhaufen durchwuchern und nach einiger Zeit eine reiche Ernte von Pilzen hervorbringen.

Abb. 210. Bekämpfung des Apfelschorfes (Fusicladium), oben ungespritzte, unten gespritzte Früchte.

Mit Recht gefürchtet ist die Verwechslung von Speisepilzen mit Giftpilzen. Gegen sie gibt es nur ein Mittel: die Pilze, die man sammelt, gut zu kennen. Alle anderen Vorschriften, nach denen man angeblich die Giftigkeit von Pilzen erkennen kann, sind wertlos. Auch glaube man nicht, daß die Giftpilze schlecht schmecken. Der gefährlichste von ihnen, der die meisten Unglücksfälle verursacht, der gefürchtete Knollenblätterschwamm, schmeckt sogar roh und zubereitet ganz vortrefflich. Andererseits haben manche vorzügliche Speisepilze, z. B. der Hallimasch, in rohem Zustande einen ganz abscheulichen Geschmack. Man sammle deshalb mit einem erfahrenen Kenner zusammen, bis man die wenigen Giftpilze, die mit genießbaren verwechselt werden können, sicher kennt, oder man benutze ein Buch mit guten Abbildungen. Schließlich achte man sorgfältig darauf, nur junge, frische Pilze zu nehmen und die mitgebrachte Beute vor der Zubereitung nicht stehen zu lassen. Vor allem bei warmem Wetter treten in den Eiweißstoffen der Pilze sehr schnell gefährliche Bakterienumsetzungen ein, die auch die besten Speisepilze giftig machen können und schon manchen Fall von „Pilzvergiftung" verursacht haben.

IX. Niedere Pilze, Pflanzenkrankheiten.

So angenehm die Speisepilze auch als schmackhafte Ergänzung unserer Kost sind, — ihre wirtschaftliche Bedeutung ist im allgemeinen gering. Solange es nicht gelingt, sie wie die landwirtschaftlichen Kulturpflanzen im großen anzubauen, wird ihre Verwendung immer beschränkt bleiben. Ungleich größer ist aber die Bedeutung jener Pilze, die wir im Gegensatz zu den „höheren" Hutpilzen als „niedere" Pilze zu bezeichnen pflegen. Zu den einfachsten Vertretern des Pilzreiches gehören die Spaltpilze, Bakterien oder Bazillen. Als Erreger menschlicher Krankheiten sind sie jedermann bekannt. Pest, Cholera, Typhus, Ruhr, Tuberkulose und

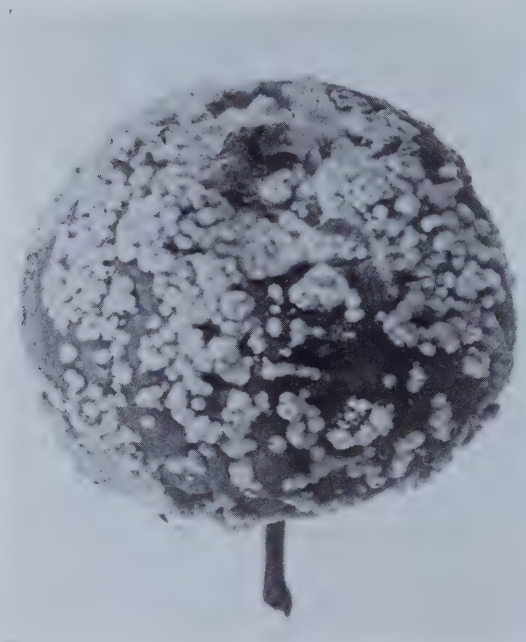


Abb. 211. Polsterschimmel (Monilia) des Apfels.

Abb. 212. Schorfkrankheit der Birne, verursacht durch den Pilz Venturia pirina (Fusicladium pirinum).

Diphtherie sind einige der bekanntesten von den durch Bakterien hervorgerufenen Krankheiten; sie erläutern ohne weiteres die gewaltige Bedeutung dieser Organismengruppe. Die Erforschung der Lebenstätigkeit der Bakterien, ihr mikroskopischer Nachweis und die Methode ihrer Bekämpfung haben ein umfangreiches Gebäude wissenschaftlicher und technischer Erfahrung erstehen lassen. Im Grunde ist diese Wissenschaft der „Bakteriologie" nichts anderes als angewandte Botanik. Dem Herkommen nach rechnet man sie freilich zur Medizin, und wir wollen uns deshalb hier mit diesem Hinweis auf sie begnügen. Nun gibt es aber außer der medizinischen noch eine andere Bakteriologie, die dem Arbeitsgebiet des Botanikers näher geblieben ist. Nicht nur bösartig und feindlich greifen die Bakterien in das Leben des Menschen ein, sie sind uns auch oft erwünscht und unentbehrlich, ja einige sind recht eigentlich

zu den „Nutzpflanzen" zu rechnen. Bakterien besorgen im großen Kreislauf der Natur die Zersetzung aller organischen Substanz. Ohne sie würden sich rings um uns riesige Leichenhaufen türmen. Tierische sowohl wie pflanzliche Leichen werden durch Bakterientätigkeit zu einfachsten chemischen Stoffen abgebaut, die nun wieder in den großen Strom des Lebens einfließen können. Im Wasser der Flüsse und Seen, im Waldboden, im Ackerfeld sind Bakterien in Menge zu finden, denen ganz bestimmte Gebiete im großen Getriebe des Stoffumlaufes auf der Erde zukommen.

Abb. 213. Kropfkrankheit des Kohls. Stark erkrankter Kohlrabi.

Abb. 214. Brennfleckenkrankheit der Bohne. Erkrankte Hülsen.

Ja, gerade die Bakterien des Ackerbodens sind von höchster wissenschaftlicher Bedeutung. Zahlreiche wissenschaftliche Institute beschäftigen sich auf der ganzen Erde mit dem Gebiet der „Bodenbakteriologie". Wir werden davon noch zu reden haben, wenn wir von der Ernährung der Pflanze sprechen. Unentbehrlich für uns sind weiterhin jene Bakterien, die wir zur Zubereitung einiger Nahrungsmittel benutzen. Die Molkereiprodukte sind zum großen Teil auf die ganz bestimmten chemischen Leistungen von Bakterien zurückzuführen, und seitdem man diese Lebenstätigkeit der Spaltpilze kennt, ist die Molkereiindustrie, die früher manchen Zufälligkeiten ausgesetzt war, auf eine viel sichere Grundlage gestellt worden. Man kann jetzt, anstatt die Entwicklung der erwünschten Bakterien dem Zufall zu überlassen, von vornherein diese „in Reinkultur" der Milch oder ihren Produkten zusetzen und

erzielt so eine sichere Beherrschung der oft recht verwickelten chemischen Umsetzungen. Für die Haltbarkeit der Milch spielt die Unschädlichmachung ganz bestimmter Bakterien eine große Rolle, und umfangreiche Maschinenanlagen sind zu diesem Zwecke im Gebrauch. Auch der Käse, der Kefir, teilweise auch die Butter bedürfen zu ihrer Herstellung der Mitarbeit von Bakterien.

Eine andere Gruppe aus dem Reich der niederen Pilze, von kaum geringerer wirtschaftlicher Bedeutung als die Bakterien ist die Familie der Sproßpilze oder Hefepilze. Ihr verdanken wir die Entstehung der verschiedenen alkoholischen Getränke. Seit der französische Forscher Pasteur das Wesen der Gärung in einer Lebenstätigkeit der Sproßpilze erkannt hatte und der Däne Ch. Hansen in den achtziger Jahren die einzelnen Heferassen, die bei der Gärung des Bieres beteiligt sind, zu erforschen begann, hat sich die Wissenschaft von den Gärungsorganismen immer weiter ausgebreitet, und heute ist es selbstverständlich, daß der junge Brauer oder Winzer auf besonderen Fachschulen mit der Botanik der Hefepilze sich bekannt macht, um die Vorgänge seines Betriebes klar durchschauen und richtig leiten zu können. Man hat es wie bei den Bakterien verstanden, die einzelnen Arten und Rassen der Hefen zu züchten, d. h. sich beliebig viel Material von ganz bestimmten, in ihren Eigenschaften gut bekannten Gärungsorganismen zu verschaffen. Mit solchen Hefereinkulturen arbeiten heute alle großen Betriebe, die Tag für Tag und Jahr für Jahr Gärprodukte von gleicher Beschaffenheit hinausgeben wollen, wie z. B. die Brauereien und die Schaumweinfabriken. Bei der Weinbereitung hat sich im allgemeinen die Verwendung von reingezüchteter Hefe nicht eingebürgert. Hier wünscht man nicht Gleichartigkeit des Produktes, sondern schätzt gerade die vielen feinen Unterschiede der Lagen und Jahrgänge, die zum Teil auf der Tätigkeit der „wilden" Hefen beruhen, die sich im Weinbergsboden und auf den Trauben finden.

Abb. 215. Mutterkorn des Roggens. „Honigtau" im Frühsommer.

Wir sprachen von den Bakterien, die als Krankheitserreger des Menschen gefürchtet sind. Auch die Pflanzen sind den verschiedensten Krankheiten unterworfen. Überall, wo auf der Erde pflanzliches Leben gedeiht, findet der Kundige auch erkrankte Pflanzen, und so ist es nicht verwunderlich, daß auch unsere Kultur-

gewächse den verschiedensten Krankheiten ausgesetzt sind. Teilweise beruhen diese auf der Tätigkeit von Tieren; ihre Erforschung ist Sache der angewandten Zoologie. Zum großen Teil aber sind es Pilze, die die Krankheiten unserer Kulturpflanzen verursachen. Bei der Wichtigkeit des Landbaus gibt es unter diesen Krankheitserregern Organismen von geradezu weltwirtschaftlicher Bedeutung, wenn sie auch oft selbst dem Gebildeten kaum bekannt sind. Es sind meist Pilze von etwas höherer

Abb. 216. Mutterkorn des Roggens. Reife Ähren mit „Mutterkörnern".

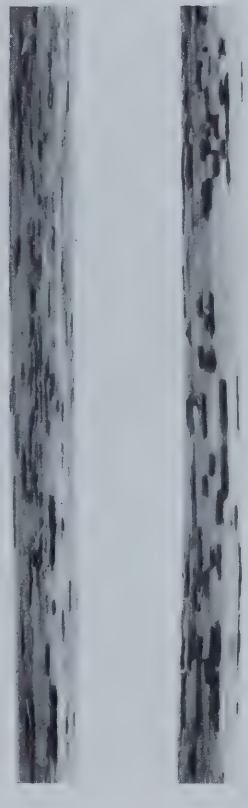


Abb. 217. Schwarzrost des Getreides. Sporenlager des Rostpilzes auf den Blattscheiden im Hochsommer.

Organisation als Bakterien und Hefen, die als Pflanzenparasiten auftreten. Oft haben sich aus Familien, deren Vertreter sonst als harmlose Bewohner modernder Stoffe ihr bescheidenes Wesen treiben, einige Arten zu Parasiten entwickelt und greifen nun verwüstend den Körper der höheren Pflanze an. Doch kennen wir auch Familien aus dem Pilzreich, die nur aus Parasiten bestehen, die also, wie wir annehmen dürfen, schon seit langen erdgeschichtlichen Zeiten sich auf das Leben im Körper einer höheren Pflanze verlegt haben. Gemeinsam ist diesen parasitischen Pilzen vor allem eine Eigenschaft, die sie mit den parasitischen Tieren teilen; die ungeheure Produktion von Fortpflanzungszellen. Da ja die Art des parasitischen Pilzes sich nur erhalten kann, wenn seine Fortpflanzungszellen auf eine neue Wirtspflanze gelangen, und da die Möglichkeit dazu oft recht gering ist, so müssen diese

Fortpflanzungszellen in gewaltigen Mengen gebildet werden. Die Fortpflanzungsorgane nehmen also bei den parasitischen Pilzen im Vergleich zu ihrer sonstigen Leibessubstanz einen sehr großen Raum ein, ja bei einigen von ihnen besteht der ganze Lebenslauf eigentlich nur darin, daß sich der Organismus nach kurzem Wachstum in eine Unmenge von Fortpflanzungszellen aufteilt. Diese Massenproduktion von Krankheitskeimen ist nun aber von großer praktischer Bedeutung. In einem natürlichen Pflanzenbestand, wo die Wirtspflanzen eines parasitischen Pilzes vereinzelt zwischen anderen Gewächsen stehen, wird durch sie erreicht, daß immer hier und da eine von ihnen erkrankt und so die Art des Pilzes sich weiter erhält. In unseren Kulturen aber, wo Tausende und Millionen von Einzelwesen der gleichen Pflanze lückenlos nebeneinander wachsen, ist durch die große Produktion von Krankheitskeimen eine Möglichkeit zu riesigen Verwüstungen gegeben, wie sie unter natürlichen Verhältnissen ganz unmöglich sind. Wir müssen bedenken, daß unsere Getreidefelder, unsere Obstplantagen und Weinberge ganz unnatürliche Pflanzengemeinschaften sind. Vergleichen wir einen natürlichen Pflanzenverein mit einer freiwillig entstandenen menschlichen Siedelung, so läßt sich unser Kulturland mit einer militärischen Garnison oder mit einem Gefangenlager vergleichen, und wie an die Aufmerksamkeit der hygienischen Behörden im letzteren Fall weit größere Anforderungen gestellt werden als bei einer natürlichen Ansiedelung, so ist auch in einer Kultur landwirtschaftlicher Nutzpflanzen die Gefahr vernichtender Seuchen weit größer als in der Freiheit eines natürlichen Pflanzenvereins.

Abb. 218. Mutterkorn, im Frühjahr keimend.

Fast alle unsere Kulturpflanzen haben unter Krankheiten zu leiden, die durch parasitische Pilze hervorgerufen werden. Einige der wichtigsten seien hier erwähnt: Rost und Brand suchen unsere Getreidepflanzen heim, Krebs und Krautfäule verwüsten die Kartoffelernte, im Obstgarten haben wir Schorf, Krebs und verschiedene Schimmelkrankheiten zu fürchten, im Weinberg erfordert der Mehltau und die Blattfallkrankheit aufmerksame Bekämpfung. Die Pflanzenpathologie, die Lehre von den Krankheiten der Pflanze, hat die Aufgabe, die Lebensgeschichte der Schmarotzerpilze zu erforschen, um die Punkte in ihrem Entwicklungskreis zu finden, an denen sie sich erfolgreich bekämpfen lassen. Die Technik der Bekämpfungsmaßnahmen, die Unterweisung der landwirtschaftlichen Kreise und die Beobachtung der landwirtschaftlichen Kulturen auf das Auftreten von wirtschaftlich wichtigen Schädigern ist die Sache des praktischen Pflanzenschutzes. Seit 1909 sind diese Bestrebungen in Deutschland zu der Organisation des Staatlichen Pflanzenschutzdienstes zusammengefaßt. Seine Zentralstelle ist die Biologische Reichsanstalt in Berlin-Dahlem, Deutschlands größte Forschungsanstalt auf dem Gebiete der Pflanzen-

krankheiten. Sie ist aus dem Reichsgesundheitsamt hervorgegangen und bildet heute eine selbständige Behörde des Reichsernährungsministeriums mit reicher Arbeitsmöglichkeit und mit einem großen Stab von wissenschaftlichen und technischen Beamten.

Zur Erläuterung der Art und Weise, wie im Pflanzenschutz wissenschaftliche Forschung und Technik der Schädlingsbekämpfung ineinandergreifen, seien einige Beispiele näher geschildert. Wir greifen aus der Menge der Pflanzenkrankheiten drei heraus von größter wirtschaftlicher Bedeutung und typisch in der Verschiedenheit ihrer Ursachen und der Möglichkeit ihrer Bekämpfung: den Steinbrand des Weizens, den Kartoffelkrebs und die Peronosporakrankheit des Weinstocks.

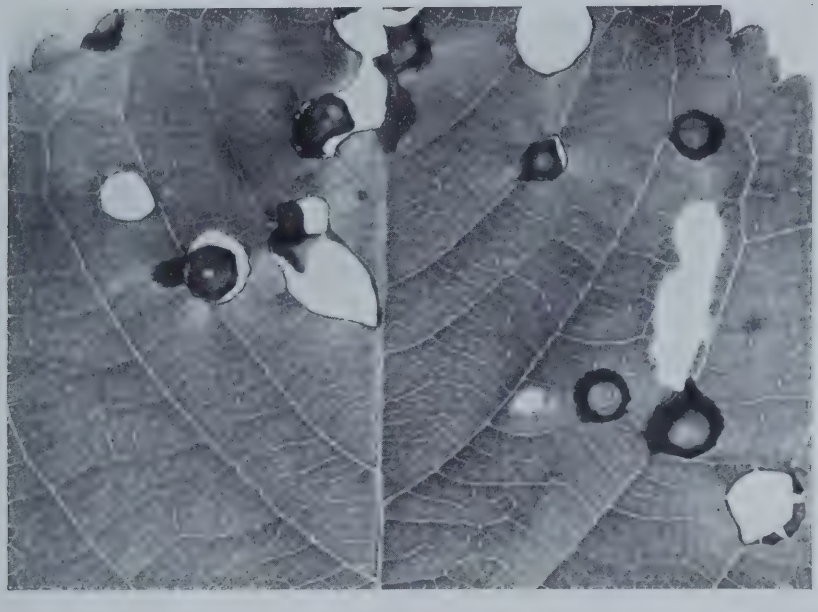


Abb. 219. Schrotschußkrankheit der Kirsche. Erkranktes Blatt vergrößert.

Der Weizensteinbrand gehört zu der Gruppe der sog. Brandkrankheiten, so genannt, weil bei ihrem Auftreten einzelne Teile der Pflanze in ein schwarzes, kohleartiges Pulver zerfallen, wie wenn sie verbrannt wären. Wer aufmerksam die Getreidefelder im Sommer betrachtet, hat gewiß schon häufig — am deutlichsten beim Hafer — einzelne Pflanzen bemerkt, die anstatt der Blüten ein schwarzes, ausstäubendes Pulver enthalten. Das ist der sogenannte Flugbrand. Der Steinbrand oder Hartbrand ist von ihm dadurch verschieden, daß das schwarze Brandpulver nicht ausstäubt, sondern von der Hülle des Korns umschlossen bleibt. Sein Auffinden erfordert deshalb schon einen etwas schärferen Blick. Beim Weizen finden wir zur Zeit der Reife Ähren, die anstatt der gelben Früchte dunkle, mißgebildete Körner enthalten. Diese Brandkörner lassen sich leicht zerdrücken, ihr Inhalt ist ein schwarzes, schmieriges, übelriechendes Pulver. Unter dem Mikroskop erkennen wir, daß es aus Sporen, d. h. Fortpflanzungszellen des Pilzes besteht, der die Ursache dieser Krankheit ist. Beim Dreschen werden nun die Brandkörner

zerschlagen, und die Sporen beschmutzen in großer Menge die gesunden Getreidekörner. Mehl von solchem brandhaltigen Weizen ist dunkel gefärbt und hat den üblen, heringslakeähnlichen Geruch des Brandpulvers. Vor allem aber trägt Saatgut, dem Brandsporen anhaften, schon den Krankheitskeim für das nächste Jahr in sich. Im feuchten Ackerboden keimen nämlich mit dem Weizenkorn auch die Sporen des Pilzes. Sie senden feine Fäden in die junge Weizenpflanze hinein, die bald die jungen Gewebe zu finden wissen, aus denen die Blüten gebildet werden sollen. Hier entwickelt sich der Schädling zu einem dichten Geflecht, zerstört die Blütenanlage, und das reifende Getreidekorn füllt sich statt mit nahrhaftem Mehl mit den stinkenden Brandsporen. Bei dem großen Schaden, den der Steinbrand als die gefährlichste Krankheit der wichtigsten Kulturpflanze anrichtet, ist es klar, daß man mit aller Anstrengung nach Bekämpfungsmaßnahmen suchte, und es war eine der ersten Bestrebungen der Biologischen Reichsanstalt, Wege zur Bekämpfung des Weizensteinbrandes zu finden. Das ist heute soweit gelungen, daß jeder Landwirt in der Lage ist, brandfreie Weizenfelder zu erzielen. Der Entwicklungsgang des Pilzes zeigt uns, wo wir ihn angreifen können. Wir müssen die dem Saatkorn anhaftenden Pilzkeime vernichten, ehe die junge Getreidepflanze infiziert ist. Denn im Innern der Wirtspflanze kommen wir dem Schädling nicht bei, ohne diese gleichzeitig zu vernichten. Wie es bei der Behandlung einiger menschlicher Krankheiten gelungen ist, Präparate zu finden, die, ohne den Menschen zu schädigen, den Krankheitserreger abtöten, also eine „chemotherapeutische" Behandlung ermöglichen, so hat man auch chemische Substanzen ausfindig gemacht, die die Steinbrandsporen töten, ohne dabei die Saatkörner zu schädigen. Solche „Saatbeizmittel" sind heute eine ganze Reihe im Handel. Es sind meist Verbindungen des Quecksilbers oder Kupfers. Ihre Herstellung erfolgt in unseren großen, chemischen Fabriken, und umfangreiche wissenschaftliche Arbeit war zu ihrer Auffindung notwendig.

Abb. 220. Blattfleckenkrankheit der Sellerie (Septoria apii).

Der Kartoffelkrebs weicht in seiner Erscheinung und Entwicklung völlig von den Brandkrankheiten ab. Wir finden bei der Kartoffelernte Knollen, die anstatt

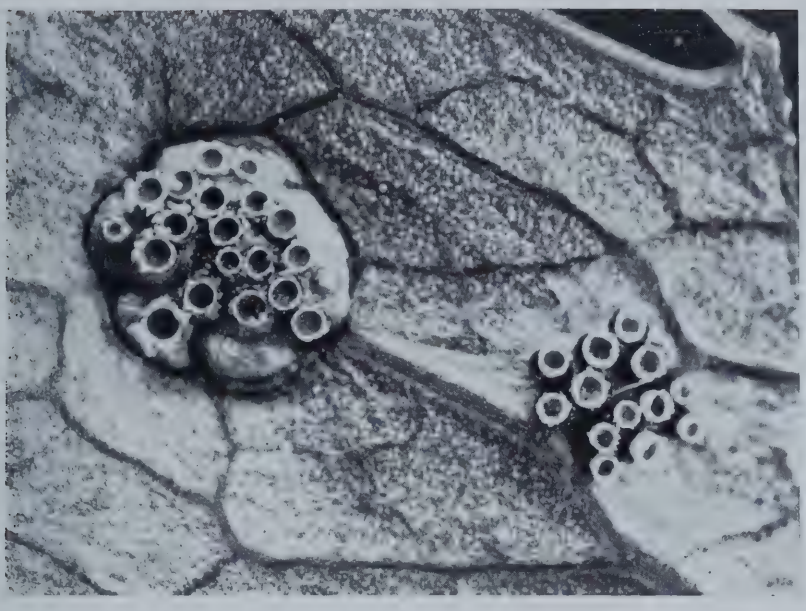


Abb. 221. Schwarzrost des Getreides. Im Frühjahr erscheint die „Becherrostform" des Pilzes auf den Blättern der Berberitze.

der „Augen" krümelige, braune Wucherungen zeigen. Manche stark erkrankte Knollen bestehen vollständig aus der krümeligen, widerlichen Geschwulst und sind unverwendbar. Aber auch die schwächer erkrankten Knollen gehen im Keller leicht in Fäulnis über. Bauen wir im nächsten Jahr wieder Kartoffeln auf dem gleichen Feld, so sehen wir, daß die Krankheit wieder erscheint, ja daß sie immer schlimmer wird. Auch wenn wir gesundes Saatgut kaufen, sind wir nicht gesichert; es bringt uns kranke Früchte, denn das Feld ist jetzt mit Krankheitskeimen verseucht. Die Krankheit ist noch nicht lange bekannt; erst in den letzten Jahren des vergangenen Jahrhunderts begann sie im Industriegebiet Englands aufzutreten und breitete sich in besorgniserregender Weise aus. In Deutschland finden wir sie seit 1908 in ständigem Vordringen begriffen. Amerika, das Heimatland der Kartoffel,

Abb. 222. Zweigspitzendürre (Monilia) der Sauerkirsche.

Abb. 223. Beizung des Getreides gegen Brandkrankheiten.

kannte sie ursprünglich nicht, erst seit 1918 wird sie dort beobachtet. Daß der Kartoffelkrebs in einem gefährlichen Siegeszug über die ganze Welt begriffen ist, zeigt sein Erscheinen in allerjüngster Zeit in Südafrika. Bei der Gefahr, die die Krankheit für die Landwirtschaft der Welt bedeutet, ist es nicht verwunderlich, daß die Länder, die noch von ihm verschont sind, mit allen Mitteln sich vor ihr zu schützen suchen. Gesetzliche Vorschriften fordern heute in fast allen Kulturländern für eingeführte Kartoffeln den Nachweis der Krebsfreiheit. Auch im Innern Deutschlands sucht man, wie in anderen Ländern, durch zum Teil sehr empfindliche staatliche Maßnahmen der Ausbreitung der gefährlichen Seuche zu begegnen. Was ist nun die Ursache dieser Erkrankung? In den Geschwülsten erkrankter Knollen finden wir in großer Menge kuglige Sporenbehälter, in denen Unmassen winziger Fortpflanzungszellen enthalten sind. Unter günstigen Bedingungen platzt die Sporenkapsel, und die Sporen werden frei. Sie sind im Wasser beweglich wie kleine Infusions-

Abb. 224. Weizen-Steinbrand. „Brandbutten", vom Pilz zerstörte Körner. Links unten ein gesundes Korn.

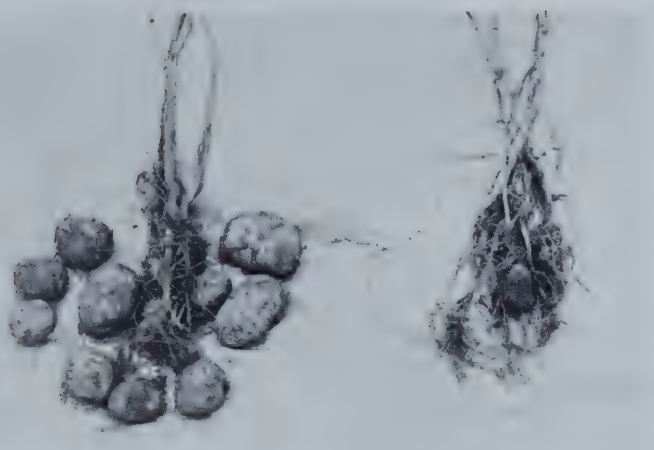


Abb. 225. Kartoffelkrebs, Ertrag einer unanfälligen Sorte (links) und einer anfälligen (rechts) auf verseuchtem Feld.

tierchen und schwimmen in der Feuchtigkeit des Bodens umher. So gelangen sie an die Knollen der Kartoffel; in die Zellen der Oberhaut dringen sie ein und wachsen hier zu immer noch mikroskopischer Größe heran. Durch den winzigen Parasiten wird nun aber ein Reiz auf die Gewebe der befallenen Pflanze ausgeübt, der sie veranlaßt, anstatt normaler Knollen mißgestaltete Wucherungen hervorzubringen. Was hier für geheimnisvolle Kräfte am Werke sind, weiß heute noch niemand. Das Ergebnis der Ansteckung ist jedenfalls, daß sich aus jeder in die Pflanze eingedrungenen Fortpflanzungszelle eine Sporenkapsel mit großen Mengen von Sporen entwickelt, die nun wieder keimen und neue Knollen anstecken können. Wem dieser Entwicklungsgang des Krebserregers bekannt ist, der wird sofort sehen, daß ein Kampf gegen die Seuche äußerst schwierig sein muß. Denn aus den verfaulenden Krebsgeschwülsten gelangen Sporen massenhaft in den Erdboden, die nun auch gesundes Saatgut wieder anstecken können. Eine Desinfektion des Ackerbodens im großen ist natürlich undurchführbar; wir müßten also dem Untergang unseres Kar-

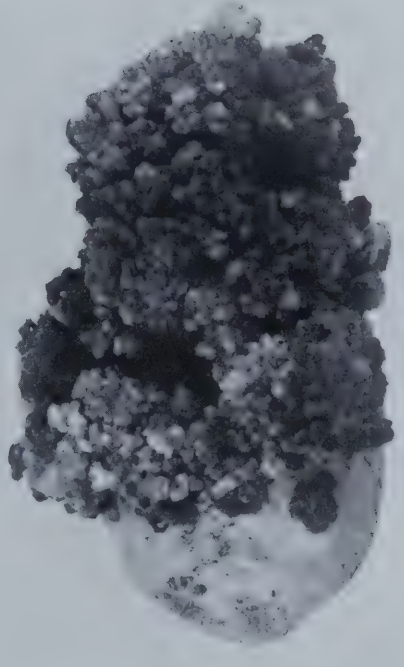


Abb. 226. Kartoffelkrebs. Stark erkrankte Knolle.

Abb. 227. Reben-Peronospora (Blattfallkrankheit). Ungespritzter Weinberg. Blattwerk und Trauben vom Pilz zerstört.

Abb. 228. Peronospora-Krankheit der Rebe. Vom Pilz Plasmopara viticola befallenes Blatt.

toffelbaues tatenlos zusehen, wenn nicht die Natur selbst uns hier zu Hilfe käme. In ihrer unerschöpflichen Mannigfaltigkeit und Gestaltungskraft, mit der sie gerade den auf die Kartoffel angepaßten Schädling schuf, hat sie auch unter den vielen Rassen der Kartoffel solche hervorgebracht, die gegen die Seuche widerstandsfähig sind. Solche krebsfesten Kartoffelsorten können auch in völlig verseuchtem Gelände gebaut werden, und sie stellen unser wertvollstes Hilfsmittel im Kampf gegen die Krankheit dar. Einem allgemeinen Anbau solcher Sorten stehen noch einige Bedenken entgegen, denn manche krebsanfällige Sorten haben wertvolle Eigenschaften, die den krebsfesten noch nicht zukommen, aber es ist nur eine Frage kurzer Zeit, daß es der Züchtung gelingt, krebsfeste Kartoffeln mit allen gewünschten Eigenschaften zu erzielen.

Die Peronosporakrankheit des Weinstocks verdient deshalb eine kurze Besprechung, weil sie im ganzen deutschen Weinbaugebiet verbreitet ist und eine dauernde, sorgfältige Bekämpfung notwendig macht. Hier haben wir den glücklicherweise seltenen Fall, daß eine Kulturpflanze durch einen Schädling so schwer bedroht ist, daß ihr Anbau ohne Schädlingsbekämpfung zur Unmöglichkeit

geworden ist. Die Peronosporakrankheit ist nicht in Europa heimisch. Sie wurde etwa um das Jahr 1880 aus Amerika eingeschleppt. Die Krankheit ist in weitgehendem Maße von der Witterung abhängig. Feuchtes, regnerisches Wetter begünstigt sie sehr, und schon im Mai, bald nachdem die Reben ausgetrieben haben, können dann ihre ersten Spuren erscheinen. Sie zeigen sich in weißen Pilzrasen auf der Unterseite der Blätter. Diese Rasen enthalten große Mengen von Fortpflanzungszellen des Pilzes, die vom Wind auf die Blätter und Blüten benachbarter Reben geweht werden. Fällt nun ein Regen, so schlüpfen aus den Fortpflanzungszellen kleine, bewegliche Schwärmer aus, die sogleich in die Atemöffnungen der Blätter oder anderer Organe der Rebe eindringen. Im Innern wuchert der Pilz und bringt die ihn umgebenden Gewebe zum Absterben. Werden die Blätter so befallen, so werden sie bald abgeworfen, daher der Name „Blattfallkrankheit" für diese Erscheinungsform der Krankheit. Auch die Blüten können völlig zerstört werden, ja auch die heranreifenden Beeren können erkranken. Sie schrumpfen völlig ein und gleichen einem ledernen Beutel, daher nennt der Winzer diese Form der Seuche „Lederbeerenkrankheit".

Abb. 229. Reben-Peronospora. Links Traube aus ungespritztem, rechts aus gespritztem Weinberg.

In feuchten Jahren kommt keine Traube in die Kelter, wenn der Winzer nicht den Kampf gegen den Schädiger mit aller Macht führt. Mit kupferhaltigen Flüssigkeiten werden die Reben gespritzt; da der Pilz gegen Kupfer äußerst empfindlich ist, so wird dadurch der Weinstock vor einer Ansteckung geschützt, denn die Schwärmsporen der Peronospora sterben, wenn sie mit Spuren von Kupfer in Berührung kommen. Da das Auftreten der Krankheit in ganz gesetzmäßiger Weise von einzelnen Regenfällen abhängig ist, so kann sich eine Bekämpfung genau nach dem biologischen Verhalten des Pilzes richten. Tatsächlich gelingt es auch bei gefährlichem Auftreten der Krankheit Blattwerk und Traubenertrag gesund zu erhalten, aber von der Mühe der Spritzarbeit im steilen, sonnendurchglühten Weinberg hat der Fernerstehende wohl kaum die rechte Vorstellung.

Die Wissenschaft von den Pflanzenkrankheiten und die Technik ihrer Bekämpfung ist zur Zeit in regster Entwicklung begriffen. Wie notwendig sie ist, zeigt so recht das Beispiel Amerikas. Hier ist die Schädlingsforschung und -bekämpfung in groß-

zügigster Weise entwickelt, eben weil man erkannt hat, daß durch sie große Wirtschaftswerte erhalten werden können, die sonst den Schädlingen unserer Kulturpflanzen zum Opfer fallen würden.

X. Pflanzenernährung und Düngung.

Es gibt wenige Gebiete im Bereich der Wissenschaft, in denen theoretische Forschung und praktische Arbeit so eng miteinander verbunden sind, sich so oft, gegenseitig sich ergänzend und anregend, gefördert haben, wie gerade die Lehre von der Ernährung der Pflanzen.

Abb. 230. Reben-Mehltau. Links, durch Schwefeln bekämpft, rechts nicht bekämpft.

Lange Zeit gingen praktische Erfahrung und wissenschaftliche Forschung getrennt nebeneinander her. Der Bauer wußte seit uralten Zeiten, daß ein Ackerfeld nicht Jahr für Jahr den gleichen Ertrag bringt, sondern daß seine Fruchtbarkeit allmählich abnimmt. Er hatte auch bald die Erfahrung gemacht, daß der Acker sich erholt, wenn man ihn einige Jahre brach liegen läßt. Das erforderte eine gewisse Breite des Grundbesitzes, die bald nicht mehr zur Verfügung stand, als dichtere Besiedelung höhere Ansprüche an den Ertrag des Landes stellte. Nun wußte der Landmann andererseits auch längst, daß man dem Acker seine Fruchtbarkeit wiedergeben kann, wenn man ihn düngt, d. h. ihm tierische oder menschliche Exkremente zuführt. Eine geordnete Düngerwirtschaft war deshalb stets das Bestreben einsichtiger Landwirte.

Auf diesem Standpunkt blieb die Kenntnis von der Pflanzenernährung lange Zeit, bis im Anfang des 19. Jahrhunderts eine wissenschaftliche Bearbeitung des Gebietes begann, die bald eine große Erweiterung des Wissens brachte. Woher

stammen die Aschen- oder Mineralbestandteile in der Pflanze? Im Jahre 1838 erbrachten Wiegmann und Polstorff den klaren Beweis, daß die Pflanze nur solche Mineralstoffe enthält, die sie aus dem Erdboden aufgenommen hat. Ihr Versuch war folgender: sie füllten einen chemisch unangreifbaren Blumentopf, einen Platintiegel, mit einem sicher nährstofffreien „Erdboden", nämlich feingehacktem Platindraht. Sie säten darin Kressesamen aus, gossen sie mit destilliertem Wasser und konnten nun nachweisen, daß die herangewachsenen Pflänzchen nicht mehr und nicht andere Mineralstoffe enthielten als die gleiche Anzahl Samenkörner.

Bald nach diesen Forschungen wurde nun auch festgestellt, wie die Stickstoffernährung der Pflanze vor sich geht. Man erkannte, daß die Pflanzen ihren Stickstoff nicht aus dem sie umgebenden Luftmeer schöpfen, sondern aus stickstoffhaltigen Substanzen des Erdbodens. Damit war die Grundlage zu einer wissenschaftlichen Erkenntnis der Pflanzenernährung gelegt. Sie wurde später noch einmal erweitert, als das eigenartige und abweichende Verhalten der Schmetterlingsblütler bekannt wurde, aber die Hauptergebnisse waren gewonnen, auf denen die moderne Düngerlehre aufbauen konnte. Sie muß jeder Landwirt beherrschen, der wirtschaftlich arbeiten will, und an ihrem Ausbau arbeiten heute zahlreiche wissenschaftliche Institute.

Betrachten wir nun einmal kurz die verschiedenen Nährstoffe der Pflanze; es sind die folgenden:

1. Das Wasser, 2. die Kohlensäure, 3. die Mineralstoffe, 4. der Stickstoff.

Das Wasser ist natürlich die Grundlage alles Pflanzenlebens. 75—85% der Leibessubstanz unserer Kulturpflanzen besteht aus Wasser. Das Wasser ist der große Beherrscher des pflanzlichen Lebens auf der Erde. Wo es reichlich vorhanden ist, da prangt die Pflanzenwelt in der überwältigenden Lebensfülle des tropischen Urwaldes. Wo es fehlt, dehnt sich die kahle Wüste. Aber auch hier entsteht ein üppiger Pflanzenteppich, wenn es gelingt, durch Bewässerungsanlagen für ausreichende Feuchtigkeit zu sorgen. Der Wasserhaushalt unserer Äcker muß durch kluge Maßnahmen des Landwirts genau geregelt werden. Der niederschlagsreiche Winter gibt dem Ackerfeld einen Vorrat für die ersten Sommermonate mit. Der Landwirt muß durch geeignete Bodenbearbeitung diesen Wasservorrat sparsam zu verwenden wissen, damit er den heranwachsenden Pflanzen zugute kommt und nicht nutzlos verdampft.

Die Kohlensäure, der zweite der Pflanzennährstoffe, ist der einzige, der bisher unserer Beeinflussung entzogen ist. Erst in allerneuester Zeit hat man daran gedacht, durch Erhöhung des Kohlensäuregehaltes höhere Ernten zu erzielen. Die theoretische Möglichkeit dazu ist durch Versuche erwiesen. Die praktische Ausführung stößt aber auf große Schwierigkeiten. Man denkt einerseits an die Verwertung der riesigen Kohlensäuremengen, die den großen industriellen Feuerungsanlagen ungenutzt dauernd entströmen, andererseits sucht man die Kohlensäure, die durch Zersetzung von Dünger, Laubwerk und anderen organischen Stoffen entsteht, in wirtschaftlicher Weise zu verwerten.

Die Mineralstoffe, die wir in der Pflanze finden, sind sehr zahlreich. Man hat aber nachweisen können, daß nur wenige für das Gedeihen der Pflanze wirklich unentbehrlich sind. Es sind das: Kalzium, Magnesium, Eisen, Schwefel, Phosphor

und Kalium. Die ersten vier davon benötigt die Pflanze in geringer Menge, und selbst der ärmste Boden enthält genug von ihnen. Anders steht es aber mit dem Phosphor und dem Kalium. Hiervon bedürfen unsere Kulturpflanzen recht ansehnliche Mengen. Fast die Hälfte der Asche von Roggenkörnern besteht aus Phosphorsäure, und etwa 60% der von Kartoffeln aus Kali. Es ist klar, daß solche Mengen, die dem Acker jährlich entzogen werden, irgendwie ersetzt werden müssen, wenn die Fruchtbarkeit des Bodens nicht sinken soll. In der freien Natur freilich, wo jede Pflanze an der Stelle, wo sie wuchs, stirbt und wo die Nährstoffe, die sie auf-

Abb. 231. Hafer-Düngungsversuch aus der Versuchsstation Limburgerhof der J. G. Farbenindustrie. — 1 = ohne Düngung, 4 = mit Kali und Phosphorsäure gedüngt, 7, 10 und 13 = Kali, Phosphorsäure und steigende Mengen von Stickstoff.

genommen hat, der nächsten Generation zugute kommen, besteht ein Mangel an Kali und Phosphorsäure nicht. Auf unserm Acker dagegen müssen wir für Ersatz dieser Stoffe sorgen. Das geschah jahrhundertelang ausschließlich durch den Stallmist, mit dem wenigstens ein Teil der dem Acker entzogenen Substanz wieder zurückgebracht wurde. Heute reicht der Stallmist in keinem intensiv arbeitenden landwirtschaftlichen Betriebe aus, um den Kali- und Phosphorsäurebedarf des Bodens zu decken. Wir nehmen deshalb die sogenannten Kunstdünger zu Hilfe. Eigenartig ist die Geschichte der Anwendung künstlicher Kali- und Phosphorsäuredünger. Aus wertlosen, lästigen Abfallstoffen haben sie sich zu höchst begehrten, wichtigen Handelsartikeln entwickelt. Als „Abraumsalze" waren kalihaltige Salzgemische lange bekannt in dem Gebiet um Staßfurt. Hier trieb man Bergbau auf Steinsalz, und die über dem Steinsalzlager ausgebreiteten Kalisalze wurden als unbenutzbar

fortgeworfen. Heute ist die Steinsalzgewinnung zur Nebensache geworden, und die wertvollen Kalisalze sind es, die immer neue Schächte und Aufbereitungsanlagen entstehen lassen. Ähnlich steht es mit einem der wertvollsten Phosphorsäuredünger, dem Thomasmehl, das bei der Verarbeitung phosphorhaltiger Eisenerze abfällt. Früher war der Phosphorgehalt der Erze so lästig, daß er ihre Gewinnung unwirtschaftlich erscheinen ließ, heute ist er eine Quelle reicher Einnahmen, und daß wir unsere phosphorreichen Eisengruben in Lothringen verloren haben, ist ein schwerer Schlag für die deutsche Landwirtschaft.

Der Stickstoff endlich kann als der wichtigste Pflanzennährstoff bezeichnet werden. Fast alle Felder antworten auf eine Stickstoffdüngung mit höheren Erträgen. Neben dem Stallmist verwendete man früher schon Stickstoffsalze, und zwar den Chilesalpeter und das von den Gasfabriken als Nebenprodukt gewonnene schwefelsaure Ammoniak. Als uns im Kriege die Zufuhr von Chilesalpeter gesperrt war, gelang es uns bekanntlich, den großen Stickstoffbedarf der Sprengstoffindustrie aus dem Stickstoff der Luft zu decken. Die großen Fabrikanlagen der Badischen Anilin- und Sodafabrik in Oppau und Leuna stellen aus dem Stickstoff der Luft nach dem Verfahren von Haber und Bosch zuerst Ammoniak und darauf verschiedene stickstoffhaltige Salze her. Die vier Rohstoffe, die diese Fabriken benötigen: Luft, Wasser, Kohle und Gips stehen uns im Lande jederzeit zur Verfügung, und damit ist Deutschlands Stickstoffversorgung vom Ausland unabhängig geworden.

Abweichend von allen anderen Pflanzen verhalten sich in ihrer Stickstoffernährung die Schmetterlingsblütler, also z. B. Erbse, Bohne, Lupine. Sie allein können mit Hilfe von Bakterien, die sie in ihren Wurzeln beherbergen, den Luftstickstoff ausnutzen. Man kann also, wenn man auf stickstoffarmem Lande Schmetterlingsblütler anbaut, und die herangewachsenen Pflanzen unterpflügt, dem Acker Stickstoff zuführen Das ist der Sinn der Lupinenfelder auf den nährstoffarmen Sandböden.

XI. Pflanzenzüchtung.

Unsere Kulturpflanzen kommen in vielen verschiedenen Formen vor, die man als Rassen, auch wohl als Varietäten oder Sorten zu bezeichnen pflegt. Die einzelnen Sorten sind in ihrem wirtschaftlichen Wert oft sehr ungleich. Es gibt reichtragende und wenig fruchtbare Kartoffelsorten, großblumige, schönfarbige und unscheinbare Rosen. Auch in ihrem Verhalten gegenüber der Umwelt zeigen die Rassen unserer Kulturpflanzen deutliche Unterschiede. Der Landwirt muß wissen, daß manche Sorte, die im Flachland befriedigenden Ertrag bringt, im rauhen Klima und im kurzen Sommer des Gebirges nicht brauchbar ist und durch eine andere ersetzt werden muß. Die Beeinflussung der Form unserer Kulturgewächse, ihre ständige Verbesserung, ist die Aufgabe der Pflanzenzüchtung. Groß sind die Erfolge, die sie bisher erreicht hat. Die Getreidesorten, die Blumen, die unsere Großväter bauten, bleiben weit hinter den Formen zurück, die wir heute besitzen. Und unabsehbar sind die Aufgaben, die heute noch der Pflanzenzüchtung gestellt sind. An ihrer Lösung arbeiten in allen Ländern zahlreiche staatliche und private Einrichtungen, und jedes Jahr bringt da neue Fortschritte.

Von einem recht ziellosen Arbeiten hat sich die Pflanzenzüchtung in den letzten Jahrzehnten zu einer wissenschaftlich wohlbegründeten und folgerichtigen Methode erhoben. Die großen und wichtigen Entdeckungen, die die wissenschaftliche Vererbungslehre geliefert hat, hat sich die praktische Züchtung zunutze gemacht, und jeder, der heute Pflanzen züchten will, muß die Grundlagen der pflanzlichen Entwicklung, Formbildung und Fortpflanzung beherrschen, wenn er nicht Zeit und Arbeit ziellos verschwenden will.

Die Grundtatsache, die es uns ermöglicht, die Formen unserer Kulturpflanzen zu beeinflussen, ist die Fähigkeit der Organismen, zu variieren. Wir wissen, daß in einem großen Pflanzenbestande nicht alle Individuen einander gleich sind, daß die Nachkommen niemals völlig den Eltern gleichen. Die organische Form ist also nicht starr und fest, sondern plastisch, — beeinflußbar von den Kräften der Natur und auch von der Hand des Züchters. Zahlreiche Variationen zu schaffen und die geeigneten davon auszulesen, — das ist die eigentliche Aufgabe der Pflanzenzüchtung. Da müssen wir zuerst wissen, welche Ursache denn das Variieren der Pflanzen hat. Die Vererbungswissenschaft lehrt uns, daß die Variationen der Organismen in der Hauptsache auf drei Ursachen beruhen. Wenn ich von einer Pflanze eine Anzahl von Stecklingen mache, die Pflanze also gewissermaßen in mehrere ihrem Wesen nach gleiche Teile zerlege, und einige dieser Stecklinge in nährstoffreichem Boden, andere in kargem Sande wachsen lasse, so werde ich bald sehen, daß sich Pflanzen von ganz verschiedenem Aussehen daraus entwickeln. Die guternährten groß, reich belaubt und üppig blühend, die hungernden so dürftig, daß man kaum glauben möchte, die gleiche Pflanze vor sich zu haben. Oder wenn man, wie das schon vor längerer Zeit geschehen ist, Pflanzen der Ebene teilt und die eine Hälfte an ihrem natürlichen Standort, die andere im Hochgebirge sich entwickeln läßt, so erhält man zwei ganz verschiedene Variationen. Aber — und das ist nun wichtig — diese Variationen sind nicht beständig. Bringe ich Samen oder Stecklinge der im Gebirge wachsenden Pflanze in die Ebene zurück, baue ich die Nachkommen der hungernden Pflanze in gutem Erdreich an, so gleichen sich die Unterschiede wieder völlig aus. Man nennt heute solche von der Außenwelt hervorgerufenen, nicht beständigen Formänderungen „Modifikationen". Ihre Kenntnis ist für den Pflanzenzüchter sehr wichtig. Wenn er in einem Feld einige besonders schön entwickelte Getreidepflanzen oder besonders reichtragende Kartoffelstauden bemerkt und von ihnen Saatgut sammelt, so wird er oft mit Enttäuschung bemerken, daß die Nachkommen erheblich schlechter ausfallen als die Mutterpflanze. Er hatte eben das Saatgut von Pflanzen gesammelt, die durch zufällig reichere Düngung, Wasserzufuhr oder sonst einen äußeren Umstand günstig modifiziert worden waren und die von ihren guten Eigenschaften nichts auf die Nachkommen vererbt haben.

Anders steht es nun aber mit jenen Variationen, die die Wissenschaft „Mutationen" nennt. Das sind oft sehr auffällige, plötzlich auftretende Formabweichungen, über deren Ursache wir noch so gut wie nichts wissen. Solche Mutationen sind durch ungeschlechtliche Fortpflanzung, z. B. durch Stecklinge oder Knollen, ohne weiteres zu vermehren, und äußere Einflüsse können ihnen nichts anhaben. Die Mutationen sind eine höchst wichtige Quelle für die Pflanzenzüchtung. Viele unserer auffälligen Gartenpflanzen sind Mutationen, die rechtzeitig bemerkt und vermehrt wurden.

Hierher gehören die Bäume und Sträucher mit rotgefärbtem Laub, z. B. Blutbuche, Bluthasel usw., oder die geschlitztblättrigen Bäume. Auch die vielen Formen unserer Nutzpflanzen, z. B. die Wein- und Obstsorten, sind wohl durch Mutation entstanden. Bei der Vermehrung der Mutationen durch Samen müssen die Gesetze der Vererbung berücksichtigt werden, wenn man sie nicht bald wieder verlieren will.

Die dritte Form der Variationen bezeichnen wir als „Kombination". Sie ist für den Pflanzenzüchter die wichtigste, denn sie erlaubt es, unabhängig vom Zufall zielbewußt die Form einer Kulturpflanze zu beeinflussen, unerwünschte Eigenschaften auszumerzen, vorteilhafte Fähigkeiten zweier Sorten miteinander zu vereinigen, kurzum Pflanzen von ganz bestimmter Eigenart zu erzielen, die einen Fortschritt gegenüber den bisher bestehenden Sorten darstellt. Eine „Kombination" hat zur Voraussetzung, daß zwei Pflanzen mit verschiedenen Eigenschaften miteinander gekreuzt wurden. Die Gesetze, nach denen sich die Eigenschaften zweier miteinander bastardierter Pflanzen in ihren Nachkommen verhalten, sind im zweiten Bande unseres Werkes ausführlich behandelt worden.

Auf welche Weise durch Kombination neue Formen entstehen können, soll ein künstlich konstruiertes, einfaches Beispiel zeigen. Angenommen, wir besitzen eine rotblühende, hochwüchsige und eine weißblühende, niedrigbleibende Sorte einer Gartenblume. Wir wünschen nun eine Sorte zu haben, die bei niedrigem Wuchs rote Blüten trägt. Dann gehen wir so vor: Wir bestäuben eine Blüte der hohen, roten Form mit dem Blütenstaub der niedrigen, weißen. Die eigenen Staubbeutel der Blume müssen dabei, bevor sie sich geöffnet haben, sorgfältig entfernt werden. Aus dem so gewonnenen Samen ziehen wir im nächsten Jahr die „Erste Tochtergeneration" auf. Sie mag rote Blüten bei hohem Wuchs aufweisen, also äußerlich ganz dem einen Elter gleichen. Unbekümmert um das Aussehen dieser ersten Tochtergeneration bestäuben wir nun einige der ihr angehörigen Pflanzen mit ihrem eigenen Blütenstaub und achten im dritten Jahr auf das Aussehen der nun heranwachsenden „Zweiten Tochtergeneration". Da finden wir nun ein Gemisch von vier verschiedenen Formen: hochwüchsig-rote, hochwüchsig-weiße, niedrig-weiße und niedrig-rote. Die letztere ist die gesuchte Form. Bei zahlenmäßiger Berechnung finden wir, daß unter 16 Pflanzen nur eine die gesuchte Eigenschaft hat.

So einfach wie in diesem Beispiel sind nun die Aufgaben und der Weg der Pflanzenzüchtung meist nicht. Schon wenn sich die Rassen, die zur Kreuzung zur Verfügung stehen, in vielen Merkmalen voneinander unterscheiden oder wenn man feststellt, daß ein Merkmal von verschiedenen Erbanlagen bedingt wird, so wird die „Erbanalyse" einer Kreuzung bald äußerst verwickelt. Deshalb kann unsere Kenntnis von dem Verhalten unserer Kulturpflanzen und damit der Erwerb neuer Formen nur langsam Fortschritte machen, die nur in mühevoller, jahrelanger Arbeit gewonnen werden.

Hat man nun die gewünschte Neukombination in seinen Züchtungen erreicht, so ist die Arbeit beendet, wenn man mit einer ungeschlechtlich vermehrbaren Pflanze arbeitet, also etwa mit Kartoffel, Weinstock, Obstbäumen und vielen Gartenzierpflanzen. Wenn man aber eine Pflanze bearbeitet, die durch Samen vermehrt wird, so ist weitere Arbeit notwendig, um dauernd reines Saatgut zu erzielen oder wenigstens ein solches, das möglichst viele der gewünschten Formen liefert.

Dem Blumenzüchter ist meist jede Neukombination recht; hier kommt es oft nur darauf an, bisher unbekannte Formen und Farben hervorzubringen, ja das Monströse, Übertriebene ist häufig besonders begehrt. Bei der Züchtung der Nutzpflanzen dagegen muß man methodischer vorgehen. Man sucht ein bestimmtes Idealbild zu erreichen, das einen Fortschritt gegenüber den bisher vorhandenen Formen darstellt. Solche Aufgaben der Nutzpflanzenzüchtung sind z. B. Vermehrung des Ertrages, der Frosthärte, der Halmfestigkeit, der Widerstandsfähigkeit gegen Krankheit beim Getreide, Erzielung eines hohen Zuckergehaltes bei der Rübe, Vereinigung wertvoller Trauben mit Immunität gegen Reblaus und Pilzkrankheiten beim Weinstock, Erzielung langer, fester, leicht zu verarbeitender Fasern beim Flachs und Hanf. Wenn eine Kulturpflanze in ein neues Gebiet eingeführt werden soll, in dem sie bisher nicht gebaut wurde, so kann das oft erst geschehen, nachdem der Züchter Sorten geschaffen hat, die unter den abweichenden klimatischen Bedingungen des neuen Standortes befriedigend gedeihen. Solche Aufgaben haben in Skandinavien bestanden und in den trocknen Gebieten von Nordamerika.

Kurz, die Aufgabe, die schon jetzt der Pflanzenzüchtung gestellt sind, sind fast ungezählt, und ungeahnte Möglichkeiten schließt noch die weitere wirtschaftliche Entwicklung in sich. Die sehr großen Fortschritte, die uns die letzten Jahre gebracht haben, sowohl in der wissenschaftlichen Erkenntnis der Vererbung als auch in der Schaffung neuer Pflanzenformen lassen mit Bestimmtheit noch große Erfolge auf dem Gebiet der wissenschaftlich geleiteten Pflanzenzüchtung erwarten.

* * *

Achter Teil

Angewandte Zoologie

Von Dr. Hermann Voelkel
Regierungsrat bei der Biologischen Reichsanstalt
für Land- und Forstwirtschaft in Berlin-Dahlem

Gliederung des achten Teiles

Seite

I. Einleitung 459

II. Haustierzoologie 464

III. Forstzoologie 470

IV. Landwirtschaftliche Schädlinge 476

V. Medizinische Zoologie 499

VI. Wasserwirtschaftliche Zoologie 504

VII. Bekämpfungsmaßnahmen 505

VIII. Organisation des Pflanzenschutzdienstes 516

IX. Kulturelle Verwendung von Tieren und tierischen Erzeugnissen . . . 517

X. Schluß 523

I. Einleitung.

Die theoretische Zoologie ist bestrebt, die tierischen Organismen in allen ihren Einzelheiten und ihren Beziehungen zueinander kennenzulernen. Die angewandte Zoologie verbindet die Kenntnis dieser Dinge mit einem bestimmten Zweck. Der Mensch stellt sich stets in den Mittelpunkt des Weltgeschehens und beurteilt von dieser Einstellung aus die Beziehungen aller Lebewesen zu ihm. Von diesem anthropozentrischen Standpunkt aus teilt der Mensch auch die Tiere in solche, die ihm und seiner Wirtschaft von Nutzen sind (Nutzformen) und in solche, die seiner Gesundheit, seinen Nutztieren und -pflanzen und seinen wirtschaftlichen Erzeugnissen Schaden zufügen (Schadformen). Diese Nutzformen zu schützen, sie in ihrer Vermehrung zu unterstützen und nach dem Willen des Menschen auszunutzen, andererseits die Schadformen unschädlich zu machen und zu vernichten, sind alles Aufgaben der angewandten Zoologie. Die angewandten Naturwissenschaften sind ursprünglicher und älteren Datums als die theoretischen Wissenschaften überhaupt. So ist z. B. der älteste Zweig der angewandten Zoologie, die Medizin, älter als alle Zweige der theoretischen Naturwissenschaften. Die Heilkunst und die Tierzucht dürften wohl fast ebenso alt sein wie die Menschheit selbst. Andere Zweige der angewandten Zoologie wie z. B. das Fischereiwesen, die Abwasserbeseitigung und die Schädlingsbekämpfung sind jüngeren Datums. In den folgenden Ausführungen soll auf verschiedene Teilgebiete der angewandten Zoologie unter Hervorhebung ihrer wirtschaftlichen Bedeutung kurz eingegangen werden.

Genau wie jede Maschine ist jedes Lebewesen, jede Zelle auf eine Zufuhr von Energiestoffen angewiesen. Bei der Verbrennung werden diese Energiemengen durch die lebenden Zellen in die für die Lebensäußerungen notwendigen Energieformen umgesetzt und verbraucht. Jedes Lebewesen muß die zu seinem Leben und zu seiner Weiterentwicklung verbrauchte Energie auf irgendeinem Wege wieder ersetzen. Diese Energieaufnahme und -verarbeitung ist die Nahrungsaufnahme und Verdauung. Jedes Tier ist nun auf eine bestimmte Nahrung eingestellt, d. h., es kann die in diesem bestimmten Nahrungsmittel aufgespeicherte Energie abbauen und für sich nutzbar machen. Das eine Lebewesen ernährt sich nur von Pflanzenstoffen, andere nehmen tierische Gewebe oder Zellen, wieder andere beides als Nahrung zu sich. Wir sehen hieraus, daß das Vorhandensein des einen Lebewesens eine Notwendigkeit für die Entwicklung und das Gedeihen eines anderen ist.

In der Natur fallen die Lebewesen dauernd irgendwelchen Einflüssen anheim, sei es infolge von Schädigungen durch Naturereignisse, sei es als Nahrung für andere

Lebewesen. Würde diese ständige Dezimierung nicht stattfinden, so würden sich alle Organismen in absehbarer Zeit so stark vermehrt haben, daß für sie auf dieser Erde kein Platz mehr wäre. Dieser Übervermehrung und Übervölkerung ist in weiser Voraussicht ein Riegel vorgeschoben, indem jedes Tier oder Pflanze seine Feinde hat, denen es unterliegt, und denen es als Energiequelle dient. Dieser Feind braucht nicht gerade körperlich größer zu sein als das Nahrungstier; man denke nur an die vielen Parasiten, die im Körper eines Tieres leben, oder an die kleinen Blutsauger aus der Klasse der Insekten, die direkt den Tod des Blutspenders herbeiführen können oder indirekt durch Übertragung von Krankheiten ein Siechtum des lebenden Organismus hervorrufen. Kleine unscheinbare Lebewesen können große Tiere vollständig ausrotten, winzige Insekten können ganze Wälder oder Felder mit Kulturgewächsen vernichten und damit die in vielen Jahren von Menschen geleistete Arbeit in kürzester Zeit zugrunde richten.

Hat ein Tier sich sehr stark vermehrt und gleichzeitig die notwendige Nahrung aus den vorhandenen Organismen gedeckt, so kommt ein Zeitpunkt, an dem die Nahrung nicht mehr ausreicht, seine zahlreichen Nachkommen müssen an Hunger zugrunde gehen. Es ist eine alte Beobachtung, daß bestimmte Tiere in einzelnen Jahren sehr zahlreich auftreten, dann wiederum auf Jahre fast verschwinden, wieder erscheinen und so fort. Geht man dieser Erscheinung auf den Grund, so wird man feststellen, daß sich mit der Vermehrung eines Tieres auch seine Feinde stark vermehren, weil sich ihnen ein reichlicher und leichter Nahrungserwerb bietet. Durch das vermehrte Auftreten der Feinde wird die Zahl der Tiere tiefer heruntergedrückt. Diese Eindämmung der Vermehrung bestimmter Tiere macht sich der Mensch sehr oft zunutze. Die starke Vermehrung auf der einen Seite wird in der Natur somit stets ausgeglichen durch ein Überhandnehmen auf der anderen Seite. Es ergibt sich ein Schwingen um eine bestimmte Gleichgewichtslage, genau so, als wenn wir ein Pendel aus seiner Ruhelage bringen, welches dann auch bald nach der einen, bald nach der anderen Seite über die Ruhelage hinausschwingt. Dieser Gleichgewichtszustand in der Natur spielt eine sehr wesentliche Rolle für unser Wohl. Eine künstliche Veränderung dieses Gleichgewichtszustandes kann ungeahnte wirtschaftliche Folgen haben, da hierdurch große Werte des Volksvermögens vernichtet oder erhalten werden können.

Phot. Biol. Reichsanst., Dahlem.

Abb. 232. Fraß des Blattkäfers Galeruca an Schneeball.

Eine große Zahl von Tieren und Pflanzen hat der Mensch sich dienstbar gemacht und zieht sie sich zu den verschiedensten Zwecken heran. So pflegt und züchtet er sich zum Zwecke seiner

Ernährung: Rind, Schaf, Schwein, Geflügel, Getreide, Kartoffel, Gemüse. Hunde und Pferde werden als Wach- und Zugtiere benutzt. Eine große Zahl von Tieren wird gezüchtet, um aus Teilen ihres Körpers oder aus den von ihnen produzierten Stoffen die verschiedensten Gebrauchsgegenstände herzustellen. Man denke nur an die Bestandteile unserer Kleidung wie Wolle, Leder, Seide, Pelze usw.

Phot. Biol. Reichsanst., Dahlem.

Abb. 233. Schaden durch die Syringenminiermotte.

Alle diese Tiere und Pflanzen, die dem Menschen zu irgendeinem Zwecke oder in irgendeiner Form von Nutzen sind, werden als Nützlinge bezeichnet. Im Gegensatz hierzu nennt man Schädlinge alle diejenigen Organismen, welche entweder die Gesundheit des Menschen selbst bedrohen oder seine Nützlinge vernichten oder so schädigen, daß sie für eine weitere Verwendung (immer vom Standpunkt des Menschen aus) wertlos werden. Seitdem nun vom Menschen zu seinem Nahrungserwerb usw. Tiere und Pflanzen künstlich gezogen werden, versucht der Mensch auch von seinen Schützlingen die Feinde abzuhalten.

Die Schädlingsbekämpfung ist neben der Human- und Tiermedizin und der Haustierzucht entschieden eine der vornehmsten Aufgaben der angewandten Zoologie, weil es sich hier um die Erhaltung von großen wirtschaftlichen Werten des Volksvermögens handelt. Eine erfolgreiche Schädlingsbekämpfung ist jedoch nur möglich, wenn die Lebensgewohnheiten (Biologie) der Nutz- und Schadformen aufs genaueste erforscht sind. Dann wird die Bekämpfung der Schädlinge auch eine rationelle sein, d. h., sie wird mit geringsten Kosten den größten Erfolg zeitigen. Erst seit kurzer Zeit hat sich ein Teil der Forscher ausschließlich diesem Wissenszweige zugewandt und sich das Studium der Biologie der Schädlinge und ihrer Bekämpfung als Arbeitsziel erwählt.

Unter den Tieren weist die Klasse der Insekten die größte Individuenzahl auf. Dieses ist ein solch großes Wissensgebiet, daß sich schon seit langem die Entomologie als Lehre von den Insekten von der theoretischen Zoologie abgezweigt hat. Da ist es zu verstehen, daß in der angewandten Zoologie sich gleichfalls ein besonderer Zweig abgesondert hat, die angewandte Entomologie. In der Deutschen Gesellschaft für angewandte Entomologie hat dieser Forschungszweig seine Hauptstütze. Die angewandte Entomologie befaßt sich ausschließlich mit der Erforschung der Biologie der Nützlinge und Schädlinge aus der Klasse der Insekten und deren Bekämpfung. Die Schädlingsbekämpfung hat sich als selbständiger Wissenszweig durchgesetzt, sie hat also zur vornehmsten Aufgabe, alle uns nützlichen Tiere und Pflanzen vor Schädigungen und vor der Vernichtung zu schützen.

Trotzdem wir in schweren wirtschaftlichen Zeiten leben — oder vielleicht gerade

deswegen — haben viele eingesehen, wie große wirtschaftliche Werte durch die angewandte Zoologie und der ihr verwandten angewandten Botanik vor dem Verderben geschützt werden können. Die Schädlingsbekämpfung hat vielleicht noch mehr als andere Wissenschaften unter den allgemeinen wirtschaftlichen Nöten zu leiden. Das Betriebskapital, das hier hineingesteckt werden muß, trägt später reichliche Zinsen, deren Nutznießung jedem Einzelnen zugute kommt, wie dieses aus den unten angeführten Beispielen ohne weiteres zu ersehen ist.

Das Volksvermögen erleidet alljährlich ganz ungeheure Verluste durch die Schädlinge. Diese Verluste werden in vielen Jahren noch gesteigert, wenn irgendein Schädling in einem Bezirke in größerer Zahl auftritt. Leider ist die Kenntnis der Schädlinge im Volke nur gering; erst wenn ein Schädling in einer bestimmten Gegend in großen Massen auftritt und dem Volk in seiner eigenen Wirtschaft oder an Gesundheit Schaden zufügt, wird dieses Tier allgemeiner bekannt. Dagegen kennen und fürchten heute die Weinbauer, die Gärtner, die Obstzüchter, der Landwirt und der Förster ihre größten Schädlinge, weil sie mit ihnen fast dauernd in Berührung kommen. Aber nicht nur die bisher erwähnten Feinde der Kulturpflanzen des Menschen sind Schädlinge, sondern auch alle die Tiere, die ihm Schaden an seiner eigenen Gesundheit durch Übertragung von Krankheiten verursachen können, müssen dazu gerechnet werden. Dieses Teilgebiet der angewandten Zoologie, die medizinische Entomologie, ist ein etwas älterer Zweig dieser Wissenschaft, welche besonders bei Kolonialfragen eine große Rolle spielt. Man denke nur an die Bekämpfung der Schlafkrankheit, der Malaria usw.

Zieht man die verhältnismäßig kurze Zeit seit Bestehen der angewandten Zoologie und die schlechte wirtschaftliche Lage der letzten Jahre in Deutschland in Betracht, so muß man immerhin anerkennen, daß doch zum Teil große Fortschritte erzielt worden sind. In Amerika ist die angewandte Zoologie ein schon viel älterer Arbeitszweig, und es werden oft die dort erzielten Erfolge und Methoden der Schädlingsbekämpfung den deutschen Forschern vorgehalten. Es darf jedoch nie vergessen werden, daß in Amerika ganz andere Verhältnisse vorliegen. Ohne weiteres werden wir niemals die Methoden der Amerikaner bei uns in Anwendung bringen können. So können dort z. B. ganze Wälder unter Blausäuregas gesetzt werden. Wir müssen, ganz abgesehen von den ungeheuren Kosten, die sich das verarmte Deutschland nicht leisten kann, gleichzeitig den Wildbestand unserer Wälder aufs äußerste schonen. In Amerika braucht hierauf keine Rücksicht genommen zu werden. Die Bevölkerungsdichte ist bei uns eine so große, daß wir auch gegen die Obstschädlinge mit Hilfe von dem äußerst giftigen Blausäuregas im großen nicht vorgehen können, wie es in Amerika geschieht.

Welche wirtschaftlichen Werte und Teile des Volksvermögens alljährlich diesen fast stets unscheinbaren Schädlingen zum Opfer fallen, ist den meisten Menschen leider nur allzuwenig bekannt. Einige Beispiele sollen uns das vor Augen führen: Im Jahre 1925 war im Weinbaugebiet der Rheinpfalz der Traubenwickler (Heu- und Sauerwurm) in ungeheuren Massen aufgetreten und hat stellenweise so vernichtend gewirkt, daß viele Weingutbesitzer überhaupt keine Ernte erzielten. Der Wert einer normalen Weinernte in der Rheinpfalz betrug im Durchschnitt der letzten Jahre etwa 30 Millionen Mark. Im Jahre 1925 betrug der Erlös aus der

Ernte beim Zugrundelegen derselben Preise nur 10 Millionen Mark. 20 Millionen Mark sind also der Pfalz verloren gegangen. Durch diesen Ausfall war eine große Zahl von Winzern in ihrer Existenz bedroht und, was noch schlimmer ist, sie besaßen nicht einmal das Betriebskapital, um im nächsten Jahre die allernotwendigsten Maßnahmen zur Bekämpfung der Schädlinge im Weinberg zu ergreifen, so daß sich das Reich gezwungen sah, hier helfend einzugreifen.

Phot. Biol. Reichsanst., Dahlem.

Abb. 234. Tomatenwurzeln, von Nematoden (Fadenwürmern) befallen.

Durch den Kornkäfer und die Mehlmotte werden alljährlich in Mühlen, Speichern usw. mehrere 100 Zentner Getreide- und Mehlprodukte für die menschliche Ernährung unbrauchbar gemacht oder vernichtet.

Der Schlafkrankheit, welche durch die Tsetsefliege übertragen wird, fallen nach französischen Angaben jährlich 50000 Schwarze zum Opfer. In den Jahren 1898 bis 1906 sind allein in Uganda 200000 Menschen von der Schlafkrankheit hingerafft worden.

Der Schaden, der alljährlich durch Ratten verursacht wird, wird in England auf 15 Millionen Pfund, in Dänemark auf 7 Millionen Kronen geschätzt.

Auf Java belief sich 1921/22 in zwei Provinzen der Ernteverlust an Kaffeebohnen, der durch einen Käfer (Stephanoderes hampei) verursacht wurde, auf 1,5 Millionen indische Gulden, ganz abgesehen von der Wertminderung der übrigen geernteten Kaffeebohnen.

Das Deutsche Volk verliert durch tierische Schädlinge der Bodenprodukte jährlich mindestens 200 Millionen Mark an seinem Volksvermögen. Der durch Insekten verursachte Schaden in Nordamerika wird auf jährlich 300 Millionen Dollar angegeben.

Bei Versuchen von Einbürgerung verschiedener Tiere oder auch bei unbeabsichtigter Verschleppung von einem Erdteil in den anderen ist es bereits öfter vorgekommen, daß sich diese eingeführten Tiere an dem neuen Ort ganz ungeheuer vermehrten und zu einer großen Plage wurden (Spatzen in Amerika, Mehlmotte, Bisamratte, San José-Schildlaus usw.). Durch eine Liebhaberei eines Einzelnen

müssen später für die Vernichtung und Bekämpfung der eingeführten Tiere Unsummen von Reichsgeldern ausgegeben werden, um den Schaden, den der Einzelne natürlich nicht beabsichtigt hatte und der wahrscheinlich auch nicht vorauszusehen war, wieder gutzumachen. In allen diesen Fällen ist bei Verpflanzung eines Tieres das obenerwähnte Gleichgewicht in der Natur gestört worden. Die eingeführten bzw. eingeschleppten Tiere hatten sich gut der neuen Umgebung angepaßt und vermehrten sich stark, zumal ihre natürlichen Feinde, die am ursprünglichen Ort ihres Fortkommens die Vermehrung eindämmten, nicht mit eingeschleppt wurden. Hierdurch ergab sich eine Übervölkerung, und der Schaden, der in der ursprünglichen Heimat nicht von ausschlaggebender Bedeutung, ja vielleicht überhaupt nicht zu bemerken war, wuchs ins Ungeheuere. So ist es auch erklärlich, daß einzelne Tiere in einigen Gegenden absolut harmlos erscheinen, während sie in anderen zu den größten Schädlingen zu rechnen sind. Das lehren uns u. a. die Beispiele der Einführung der Kaninchen in Australien und der Schildläuse in Amerika.

Das bestehende Gleichgewicht kann aber auch dadurch gestört werden, daß der eine Teil aus irgendwelchen Gründen ausstirbt. Unter diesen Umständen wird sich der andere Teil hemmungslos vermehren und als Schädling erweisen, wenn der erstere vom anthropozentrischen Standpunkte aus als nützlich anzusprechen war. So wird z. B. jeder Forstmann nicht alle Füchse seines Reviers abschießen, weil diese als ärgste Feinde der Mäuse eine übermäßige Vermehrung dieser schädlichen Nager hintanhalten.

Im folgenden sollen an Hand von einzelnen Beispielen die verschiedensten Wissenszweige der angewandten Zoologie kurz gestreift werden. Die angeführten Beispiele können nur einen ungefähren Überblick über das ganze Gebiet geben und die verschiedenen Probleme der angewandten Zoologie beleuchten.

II. Haustierzoologie.

Die Haustierzoologie, die sich mit der Haltung, Zucht, Veredelung und dem wirtschaftlichen Nutzen der Haustiere beschäftigt, ist einer der wirtschaftlich wichtigsten Zweige der Zoologie. Die Tierhaltung und Tierzucht haben zum Ziele, den für die menschliche Ernährung notwendigen Bedarf an Schlachttieren und tierischen Produkten im eigenen Lande zu decken. Wie groß dieser Bedarf ist, geht daraus hervor, daß in Deutschland jährlich an Vieh und Fleisch im Werte von 4,5 Milliarden Mark verbraucht werden.

Die Tierhaltung und die Landwirtschaft ziehen wechselseitig Nutzen voneinander. Die in der Landwirtschaft nicht direkt verwendeten Produkte werden in der Tierhaltung benutzt und in andere wertvolle Ware (Milch, Fett, Fleisch, Wolle usw.) umgesetzt. Andererseits liefert das Vieh den in der Landwirtschaft so wichtigen Dünger und trägt hierdurch zur Hebung der Ertragsfähigkeit des Bodens bei. In der Zeit, in welcher der Ersatz der wichtigen Bestandteile des Stalldüngers (Stickstoff, Kali und Phosphorsäure) durch künstliche Düngemittel noch nicht bekannt und die Preise für Fleisch noch nicht so hoch waren, bestand der Hauptzweck der Rinderhaltung in der Düngerlieferung.

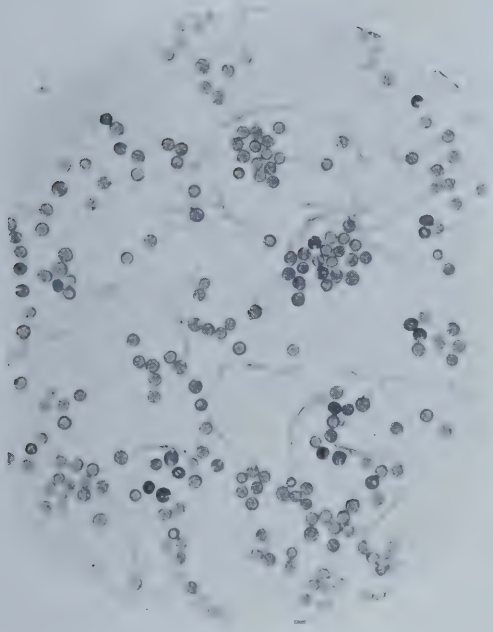


Abb. 1. Weizen-Steinbrand. Sporen des Brandpilzes, nicht gebeizt, keimend.

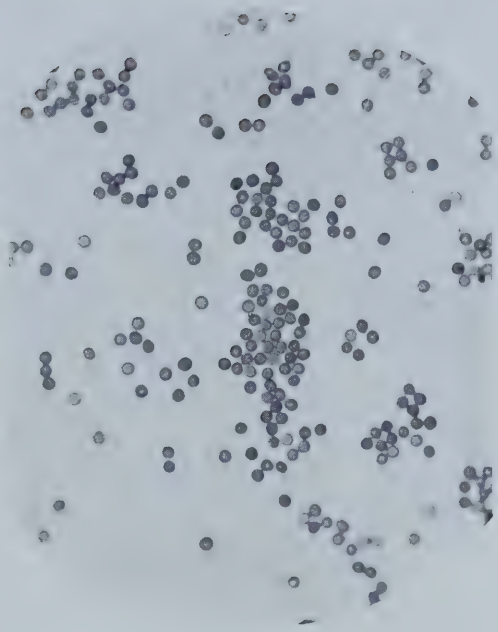


Abb. 2. Weizen-Steinbrand. Sporen des Brandpilzes, gebeizt, keimen nicht.

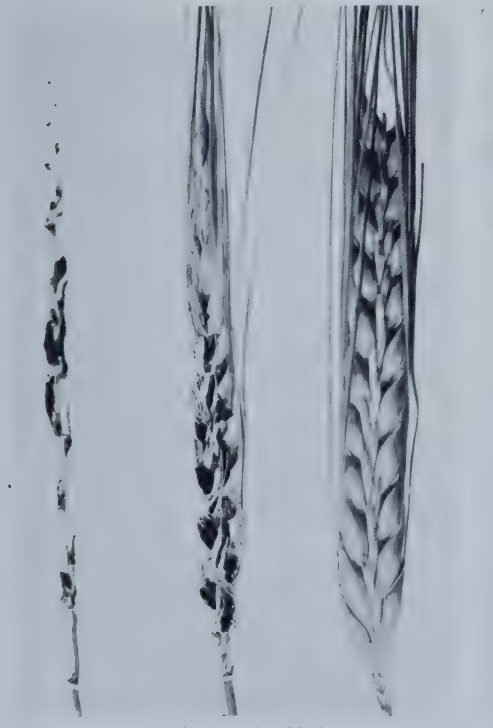


Abb. 3. Gerstenflugbrand. Links zwei kranke, rechts eine gesunde Ähre.

Abb. 4. Haferflugbrand. Links gesunde, rechts kranke Rispe.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

In der Tierzucht spielt die Vererbung und die daraus bedingte Zuchtwahl, Arten- und Rassenbildung eine wesentliche Rolle. Unter Vererbung versteht man die Übertragung der elterlichen Merkmale auf die Nachkommen, so daß letztere in allen wesentlichen Eigenschaften den Eltern gleichen. Die durch die wissenschaftliche Zoologie erworbenen Erkenntnisse für die Vererbung (Lehre von Mendel) sind in der Tierzucht theoretisch und praktisch von ausschlaggebender Bedeutung.

Die praktische Nutzanwendung der Vererbungslehre in der Tierzucht hat dazu geführt, daß besondere „Rassen" von Haustieren herangezüchtet werden, die je nach dem beabsichtigten Verwendungszweck einzelne Merkmale oder Eigenschaften besitzen, welche sie hierzu besonders geeignet machen. So unterscheidet man nach Richtlinien der Deutschen Landwirtschaftsgesellschaft: Reit-, Wagen- und Arbeitspferde; von Rindern: Gebirgs- und Tiefenschläge; Shorthorn-, Merino-, Fleisch- und Karakulschafe; verschiedene Rassen Schweine, Ziegen, Hühner, Wassergeflügel und Tauben.

Eine sorgfältige Zuchtwahl, d. h. Ausschluß aller mit erblichen Gebrechen und Anlagen behafteten Tiere von der Zucht, Vermeidung von Kreuzungen zwischen Verwandten (Verwandtschaftszucht) bewahrt den Züchter vor Schaden durch Tiere mit inneren ererbten Krankheitsursachen. Andererseits wird sich der Züchter durch sachgemäßes Halten und Füttern seiner Zuchttiere — namentlich solcher Tiere, die eine Anfälligkeit für erworbene Krankheitsursachen besitzen — vor schädlichen Einflüssen zu schützen suchen. Gegen die äußeren Schädlichkeiten bzw. Krankheitsursachen muß der Tierzüchter oft zu künstlichen Schutzmaßnahmen greifen, um einmal die natürlichen Abwehrvorrichtungen der Tiere zu unterstützen und andererseits zu versuchen, die Krankheitsursachen zu beseitigen.

Der Haustierzucht kommt es zu, uns in verschiedenster Weise durch Nachzucht, Leistung von Arbeit, Lieferung von Milch, Fleisch, Fett oder Wolle Nutzen zu bringen.

Die Haustiere sind dauernd Schädigungen ausgesetzt, abgesehen von klimatischen Einflüssen sind es besonders die pflanzlichen und tierischen Schädlinge, die die Gesundheit unserer Nutztiere bedrohen. Es seien nur die verschiedenen giftigen und schädlichen Pflanzen der Weide erwähnt, und von tierischen Organismen der Leberegel, die Band- und Blasenwürmer, die Bremsen, die Dasselfliege und andere. Neben einer direkten Beschädigung und Beunruhigung der Tiere kommen diese Schädlinge auch als Überträger von Krankheiten (z. B. Milzbrand durch die Pferdebremse, vgl. Abb. 330, Bd. II S. 515) in Frage. Durch verschiedene Schädlinge wird der Nutzen der Tiere stark herabgemindert und illusorisch gemacht. Die Dasselfliege, deren Larven sich in die Haut der Rinder einbohren, entwertet auf diese Weise das Vlies. Die Schaflausfliege Malophagus ovinus veranlaßt die Schafe zum Auszupfen der Wolle und schädigt dadurch Wollertrag und Fell. Schwere Schädigungen des Vlieses findet man auch nach Befall durch die Räudemilbe der Schafe.

In fast allen Kulturstaaten finden sich Maßnahmen, welche den Schutz und die Förderung der landwirtschaftlichen Haustierzucht zum Ziele haben, und damit

die bedeutenden land- und volkswirtschaftlichen Interessen der Tierzucht und Tierhaltung anerkennen. Diese Maßnahmen werden zum Teil von den Landesregierungen zur Wahrung der öffentlichen Interessen, zum Teil durch die Züchter selbst in Wahrnehmung der privatwirtschaftlichen Interessen durchgeführt. Die öffentlichen Maßnahmen dienen hauptsächlich dem sanitären Schutz der Tierzucht. Die Züchter sind ihrerseits in genossenschaftlichen Organisationen zusammengeschlossen, um den wirtschaftlich Schwachen zu helfen. So bestehen z. B. Ein- und Durchfuhrverbot und Beschränkungen, Zollgesetzgebungen, Gesetze zur Bekämpfung der Viehseuchen in fast allen Kulturstaaten.

Die Veterinärmedizin hat in erster Linie zur Aufgabe, die für die Landwirtschaft und Volksernährung so wichtigen Haus- und Nutztiere vor Krankheiten und Seuchen zu bewahren. Der Haustierzoologie verdanken wir u. a. die Altersbestimmungen der Tiere auf Grund der Ringbildung der Hörner bzw. nach Form und Bau der Zähne. Diese Feststellungen sind für die jeweilige Verwendung der Haustiere von großer Wichtigkeit. Auch der Schlachtwert der Rinder und Kälber und die Arbeitsverwendbarkeit der Pferde werden auf diese Weise bestimmt.

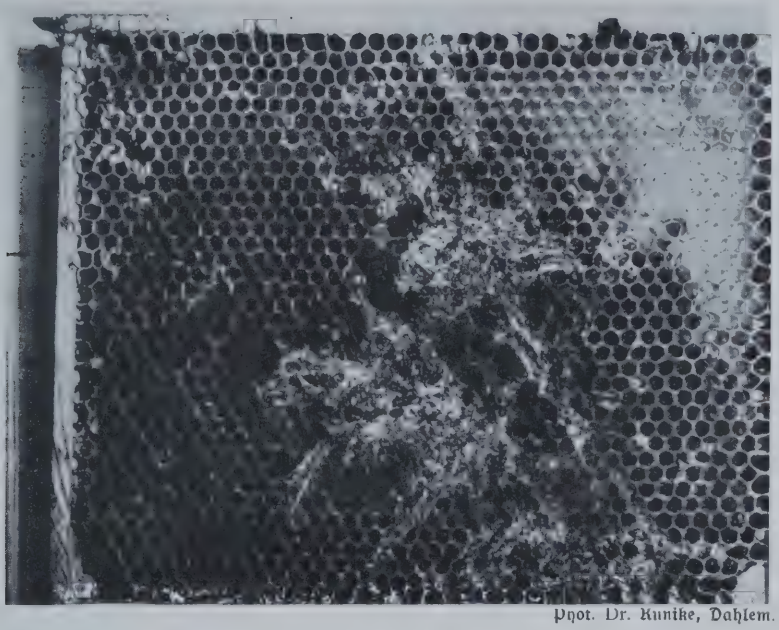
Immer wieder ist der Versuch gemacht worden, neue Haustiere aus der großen Zahl der wilden Tiere zu gewinnen. Der Elefant wird seit vielen Jahrhunderten vom Menschen zu allerhand Arbeitsleistungen herangezogen, z. B. zum Tragen von Lasten und im Altertum zu Kriegszwecken. Er ist leicht zu zähmen, und dennoch eignet er sich nicht zum Haustier im eigentlichen Sinne. Seine Aufzucht in der Gefangenschaft ist nur in allerseltensten Fällen gelungen. Die zur Arbeit in Indien, Siam und Birma verwandten Elefanten sind gezähmte wilde Tiere; sie werden immer wieder durch die in Freiheit lebenden gefangene Tiere ergänzt und nicht in der Gefangenschaft geboren.

Anders liegen die Verhältnisse bei den Elen-Antilopen, die sich in der Gefangenschaft ohne Schwierigkeit aufziehen lassen. Sie sind zutraulich und brauchen nicht mehr Schutz vor dem Wetter als viele Rindvieharten. Das Fleisch der Tiere ist wohlschmeckend, die Haut eignet sich vortrefflich zum Gerben. Eine Einbürgerung der Elen-Antilope als Haustier dürfte in Afrika ohne große Schwierigkeit möglich sein. Vor dem Krieg ist sie von einzelnen Farmern versucht worden.

Aber auch unter den Insekten finden wir ein sehr wichtiges Haustier, dessen Zucht und Pflege große wirtschaftliche Werte in sich birgt. Die Bienenzucht unterscheidet sich von anderen Haustierzuchten und landwirtschaftlichen Nebenbetrieben, z. B. der Geflügel- oder Kaninchenzucht, dadurch, daß sie außer den unmittelbaren Werten in sehr bedeutendem Maße auch mittelbare Werte schafft. Der unmittelbare Nutzen der Bienen liegt in der Honig- und Wachsproduktion, der mittelbare in der Befruchtung eines großen Teiles unserer Kulturgewächse, die ihrerseits eine erhöhte Samenbildung und einen vermehrten und besseren Fruchtansatz unserer Obstbäume, Beerensträucher, Feld- und Gartengewächse bedingt. Allein durch die Tätigkeit der Bienen entstehen der Landwirtschaft Werte, die weitaus höher zu veranschlagen sind als die Werte, die den Imkern als Wachs und Honig zufallen. In den Jahren vor dem Kriege betrug der Er-

trag der etwa 2 Millionen Bienenvölker in Deutschland an Honig und Wachs 30—50 Millionen Mark jährlich.

80% unserer heimischen Blütenpflanzen sind auf die Befruchtung durch Tiere, vornehmlich Insekten, angewiesen. In dieser Richtung durchgeführte Beobachtungen zeigten, daß von den blütenbesuchenden Insekten 73% Honigbienen, 21% Hummeln waren und nur 6% auf andere Insekten entfielen. Der Wert der deutschen Obst-



Phot. Dr. Kunike, Dahlem.

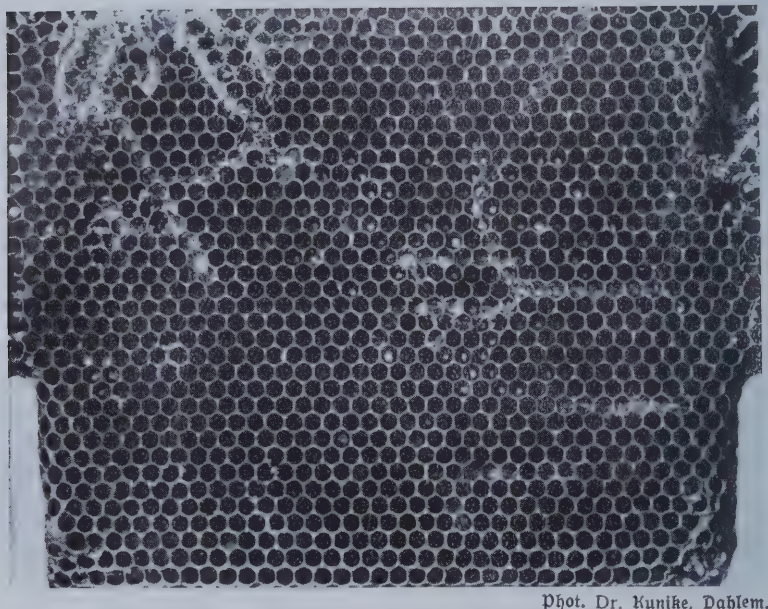
Abb. 235. Bienenwabe aus einem von der großen Wachsmotte (Galleria melonella) befallenen Bienenstock. Gemeinschaftsfraß.

erzeugung betrug in den Jahren 1912—1914 350 Millionen Mark jährlich, dazu kam noch der Wert anderer Früchte, die zu ihrer Entstehung eine Bestäubung durch Insekten nötig haben, in Höhe von 128 Millionen Mark. Da nun die Honigbiene nach den erwähnten Feststellungen zu ungefähr 75% bei der Blütenbestäubung beteiligt ist, so verdanken wir der Tätigkeit dieser emsigen Insekten einen Gewinn von etwa 350 Millionen Mark jährlich. Für den Landwirt ist die Biene eine unbezahlte Arbeitskraft, die ihm keinerlei Kosten verursacht, dagegen großen Gewinn einbringt.

Die ertragssteigernde Tätigkeit der Bienen hat sich ganz besonders in Kaffeepflanzungen gezeigt und dazu geführt, daß fast alle Kaffeepflanzer sich der Bienenzucht zugewandt haben. Der Blütenpollen der Kaffeepflanze wird normalerweise durch den Wind von Blüte zu Blüte übertragen. Der Fruchtansatz bleibt aber, wenn es viel regnet, gering, weil nur trockener Pollen vom Winde verweht wird. Die Bienen besuchen die Blüten nun aber auch bei Regen und übertragen dabei den Pollen. So leisten die Bienen bei regnerischem Wetter für die Befruchtung der

Kaffeeblüten sehr große Dienste, daneben spielt die Honiggewinnung für den Kaffeepflanzer nur eine untergeordnete Rolle.

Leider sind auch diese für die Wirtschaft so wertvollen Insekten durch mancherlei Krankheiten und Feinde bedroht, denen der Imker sofort bei den ersten Anzeichen entgegentreten muß, wenn er nicht die Existenz des Stockes, ja seines ganzen vorhandenen Bestandes gefährden will. Es seien hier nur die Faulbrut, welche wie



Phot. Dr. Kunike, Dahlem.

Abb. 236. Von der kleinen Wachsmotte (Achroea grisella) befallene Wabe. Deutlich erkennbarer Gangfraß.

der Name sagt, die junge Brut befällt, die Krankheiten der Bienen selbst, wie die Nosemaseuche, die Ruhrkrankheit, verschiedene Pilze, Befall durch Milben und Feinde der Bienenstöcke, der Wachsmotte, deren Larven das Wachs der Waben zerfressen und alles mit Gespinsten überziehen, so daß die ganzen Bienenvölker zugrundegehen, erwähnt.

In der Kriegs- und Nachkriegszeit hat man immer wieder nach neuen Produktionsmöglichkeiten im eigenen Lande Umschau gehalten, um sich von dem Auslandsmarkt unabhängig zu machen. So hat man in neuerer Zeit wieder den Plan aufgegriffen, die Seidenspinnerzucht, auf die neuesten Forschungen und Erkenntnisse gestützt, im großen einzuführen.

Die Heimat der Seidenraupe ist China. Hier war die Seidenraupenzucht und die Verarbeitung ihrer Gespinstfäden schon um das Jahr 2000 v. Chr. verbreitet. Die Ausfuhr von Eiern, Raupen und Puppen war bei Todesstrafe verboten. Um 300 n. Chr. heiratete eine chinesische Prinzessin den Herrscher von Khotan in Buchara und brachte heimlich die Eier des Seidenspinners, welche sie von den Faltern in

Blumenkelche ablegen ließ, die sie sich als Schmuck ins Haar steckte, in ihre neue Heimat mit. In Khotan setzte hierauf ein eifriger Seidenbau ein. Im 5. Jahrhundert n. Chr. brachten syrische Mönche die ersten Seidenspinnereier in hohlen Bambusstäben nach ihrer Heimat. 536 gelangte die Kenntnis des Seidenbaues von Syrien nach Byzanz. Von Syrien und Byzanz verbreitete sich der Seidenbau sehr schnell über das ganze Mittelmeergebiet und Europa. Hiermit war die Alleinherrschaft der Seidenraupenzucht für China verloren. Als Kuriosum sei erwähnt, daß man noch im 6. Jahrhundert n. Chr. über den Ursprung der Kokons nicht im klaren war. So wurden Maulbeerbäume nach Byzanz gebracht und man wartete darauf, daß die Kokons aus den Bäumen hervorwüchsen.

In Mitteleuropa faßte der Seidenbau Ende des 16. Jahrhunderts zuerst im Oberrheingebiet Fuß, und breitete sich von hier weiter aus. In Preußen führte Friedrich der Große die Seidenraupenzucht in großem Maßstabe ein. Der Seidenbau hatte sich mit der Zeit in Deutschland eine beachtliche wirtschaftliche Stellung erkämpft. Da bereitete eine Seuche unter den Raupen, 1860 von Frankreich ausgehend, dem Seidenbau ein jähes Ende. Die über ganz Deutschland verstreuten Maulbeerpflanzungen sind heute noch alte Zeugen jener Blütezeit des Seidenbaues.

Nach dem Weltkriege ist die Seidenraupenzucht in verstärktem Maße wiederaufgenommen worden, und hat stellenweise schon beachtliche Erfolge gebracht. Welcher wirtschaftliche Nutzen und Gewinn dem Volksvermögen durch den Seidenbau zukommt, geht aus der Tatsache hervor, daß Deutschland jährlich für etwa $^1/_2$ Milliarde Goldmark Rohseide einführt.

Ein weiteres Tier, dessen Zucht man sich bei uns zugewandt hat, ist der Silberfuchs, worüber im letzten Kapitel berichtet werden soll. Hier sei nur noch der Straußenzucht gedacht, welche in den Vereinigten Staaten von Nordamerika eine große Rolle spielt. Die Nachfrage nach Straußenfedern ist den Schwankungen der Mode unterworfen. Der Strauß ist nach Amerika aus seiner ursprünglichen Heimat Afrika eingeführt worden. Die ersten Versuche eines zuchtmäßigen Haltens der Strauße geht auf das Jahr 1882 zurück, in welchem die ersten Zuchttiere aus Südafrika eingeführt wurden. Im Jahre 1913 betrug die Zahl der brütenden und federproduzierenden Strauße bereits 7000 Stück. Jede der Hennen legt im Jahre bis zu 60 Eier, welche sowohl von den Straußen als auch von Brutmaschinen ausgebrütet werden. Die Zahl der schlüpfenden Jungen beträgt etwa 60% der zur Brut bestimmten Eier. Das Futter der Tiere besteht in Luzerneheu und frischer Luzerne. Alle 14 Tage erhalten die Tiere außerdem Steine und Knochen, die zu einer guten Tätigkeit des Magens von ihnen benötigt werden. Der Federertrag beläuft sich auf etwa $1^1/_4$ bis $1^1/_2$ Pfund pro Jahr und Vogel im Werte von 100—120 Mark. Hierzu kommt noch der Erlös aus Eiern und Zuchttieren. Seit dem Kriege ist die Nachfrage nach Straußenfedern stark zurückgegangen. 1924 waren auf südamerikanischen Farmen nur noch etwas über 200000 Straußen vorhanden, gegen 1913 bedeutet das eine Abnahme um 73%. Durch den starken Rückgang der Preise für Straußenfedern sahen sich viele Farmer veranlaßt, ihre Vögel zu schlachten.

Phot. Biol. Reichsanst., Dahlem.

Abb. 237. Feldmäuse vor ihrem Bau, an Rüben nagend.

III. Forstzoologie.

Der Schutz des Forstes vor Schädigungen durch Tiere, speziell Insekten, ist keine so alte Kulturerrungenschaft wie die Haustierzoologie. In früheren Zeiten wurden die Tiere des Waldes dankbar als Bereicherung des Speisezettels hingenommen. Die Jagd spielte eine große Rolle bei allen festlichen Veranstaltungen und als Prüfstein für Mut und Geschick. Die Schäden, welche die Tiere des Waldes diesem zufügten, fielen nicht ins Gewicht. Erst eine stärkere Verminderung der Wild- und Waldbestände führte zur Regelung des Abschusses und zu einer geordneten Forstwirtschaft. Die Anstellung besonders vorgebildeter Leute bezweckte nicht nur den Schutz der jagdbaren Tiere vor Menschen und vor Schädigungen aller Art, sondern auch den Schutz der Bäume vor Schaden durch Krankheit, Wild und Insekten.

Der größte Schädling unter den Wildarten ist unzweifelhaft der Elch. Dieser ernährt sich hauptsächlich von Blättern und jungen Trieben fast aller Laubhölzer. Der den Waldbeständen zugefügte Schaden besteht darin, daß der Elch die Knospen der Laubhölzer verbeißt und beim Äsen viele Zweige abreißt, die Kronentriebe junger Stämmchen abfrißt und die Stämmchen selbst niederdrückt. Viele junge Laubhölzer werden von ihm bis zu einer Höhe von 2 m der Rinde entkleidet. Diese Art des Nahrungserwerbes haben den Elch in waldwirtschaftlicher Hinsicht sehr unbeliebt gemacht und mit zu seiner Ausrottung beigetragen. Heute ist er nur noch bei Königsberg um das Kurische Haff herum anzutreffen.

Weit geringer ist der durch Verbiß, Schälen der Stämme, dem Fegen und Zertreten junger Pflanzen und Kulturen verursachte Schaden durch Rot-, Dam- und Rehwild. Gegen alle diese Schädigungen müssen Schutzmaßnahmen ergriffen und der Bestand an Wild durch Abschuß geregelt werden.

Einen empfindlicheren Schaden kann das Schwarzwild verursachen, wenn es in größerer Zahl auftritt. Ganz ungeheuer ist der Schaden z. B. in den letzten Jahren in der Rheinpfalz geworden, da hier durch Verbote der Besatzungsarmee ein Abschuß nicht durchgeführt werden durfte und zu ungeheuerer Vermehrung der Wildschweine führte. Die Wildschweine traten in die Weinberge und die bestellten Felder über und richteten große Verwüstungen an.

Der Schaden durch Hasen ist nur von lokaler Bedeutung. Dagegen kann sein naher Verwandter, das Kaninchen, zu einer Plage werden, wie im nächsten Kapitel näher ausgeführt wird.

Neben diesen jagdbaren Tieren kommen noch eine ganze Reihe von Wirbeltieren als Schädlinge des Waldes in Betracht, z. B. die verschiedenen Mäusearten, Eichhörnchen und eine ganze Reihe von Vögeln. Unter den Vögeln findet sich aber auch eine ganze Anzahl, die sich durch Vertilgung schädlicher Tiere (Mäuse, Kaninchen und Insekten) als nützlich erweisen. Bei manchen Vögeln ist allerdings die Entscheidung über Schad- oder Nutzwert nicht ganz leicht. So kann z. B. der Specht durch seine Vernichtung von schädlichen Insekten als nützlich bezeichnet werden, andererseits hackt er aber auch gesunde Stämme des Waldes an und bietet dadurch dem Eindringen von Krankheitskeimen und Pilzen eine günstige Gelegenheit. Einen gewissen Aufschluß über den Schad- oder Nutzwert von Vögeln versucht man durch die Magen- und Gewöllunterſuchungen zu erlangen. Aus diesen Untersuchungen geht die Art und Menge der aufgenommenen Nahrung hervor, so daß Rückschlüsse auf die wirtschaftliche Wichtigkeit der betreffenden Vogelart gezogen werden können.

Der Schaden durch die Vögel wird jedoch reichlich aufgewogen durch ihre Unterstützung des Menschen im Kampf gegen die schädlichen Insekten; so konnte bei jedem Massenauftreten von Insektenschädlingen beobachtet werden, daß sich große Mengen von Vögeln ansammelten, welche sich fast ausschließlich, wie bei gelegentlich erfolgtem Abschuß dieser Vögel festgestellt wurde, von diesen Schadinsekten ernährten. Wie groß die Vernichtungsziffer durch die Vögel sein kann, zeigt folgendes Beispiel: Durch je 4 Blau- und Tannenmeisen wurden täglich neben 100 Mehlwürmern 10000 Eier des Kiefernprozessionsspinners verzehrt.

Diese Erkenntnis der Nützlichkeit der Vögel im Kampf gegen Schadinsekten führte zu dem Vogelschutz. Dieser bezweckt neben einer aufklärenden Tätigkeit die Schaffung von Nistgelegenheiten, die Anlage von Winterfütterungs- und Tränkeplätzen und von Vogelfreistätten.

Die größte Zahl der Schädlinge stellen im Forst die Insekten, nicht nur, daß sie zahlenmäßig an erster Stelle stehen, auch was den in kürzester Zeit verursachten wirtschaftlichen Schaden betrifft, sind es die ärgsten Feinde der Forstwirtschaft. Die meisten schädlichen Insekten finden wir in der Ordnung der Käfer und der Schmetterlinge. Die Nadelhölzer leiden unter dem Befall durch Insekten weit mehr als Laubhölzer. Die meisten Insektenarten befallen Kiefer und Fichte.

Phot. Biol. Reichsanst., Dahlem.

Abb. 238. Schaden durch den Rüsselkäfer Othiorrhynchus an Apfelblüten.

Erst gegen Ende des 18. Jahrhunderts wurde die Aufmerksamkeit weiterer Kreise auf diese Schädlinge im Forst gelenkt. In der Zeit von 1780—1830 fanden in allen Teilen Deutschlands große Verheerungen der Waldbestände durch Insektenfraß statt. Hierdurch trat die wirtschaftliche Bedeutung der Insekten klar zutage und veranlaßte verschiedene Wissenschaftler, sich mit der Biologie der Schadformen zu beschäftigen, um Bekämpfungsmaßnahmen ergreifen zu können. Es können hier unmöglich alle die Schadinsekten des Forstes auch nur erwähnt werden. Die Größe des durch sie verursachten Schadens soll an einigen Beispielen gezeigt werden.

Die Käfer oder ihre Larven leben zum Teil im Holz, in der Rinde der Bäume, zum Teil auch in den Wurzeln oder an den oberirdischen Teilen der Pflanze. Ihr wirtschaftlicher Schaden ist aus diesem Grunde ein sehr verschiedener. Die größte wirtschaftliche Bedeutung haben wohl die im Holz und an den Wurzeln lebenden Tiere. Durch ihre Fraßtätigkeit kann der Wert des Holzes gemindert bzw. die Pflanze zum Absterben gebracht werden.

Der große schwarze Fichtenrüsselkäfer Otiorrhynchus niger benagt die Rinden der Fichten, befrißt aber auch die Nadeln und Knospen. Seine Larven fressen an den Wurzeln und nagen die Wurzelrinde so säuberlich ab, daß es aussieht, als wenn die Rinde mit einem Messer abgeschabt worden wäre. Infolge dieser Beschädigungen gehen die Bäume zugrunde. Diese Käfer sind in verschiedenen Jahren besonders verheerend aufgetreten, so 1911 in Österreich, wo $^3/_4$ des Waldbestandes durch den Fichtenrüsselkäfer und seine Larvenstadien vernichtet worden sind.

Die schlimmsten Feinde des Forstes finden wir unter den Borkenkäfern, deren hieroglyphenartigen Fraßgänge in den entrindeten Stämmen allgemein bekannt sind. Die Anlage dieser Fraßgänge ist so eigenartig und für jede Art so charakteristisch, daß man aus ihnen erkennen kann, welcher Schädling hier aufgetreten ist. Die Borkenkäfer zeichnen sich dadurch aus, daß ihre sämtlichen Entwicklungsstadien ihr Leben fast ausschließlich im Inneren der Fraßpflanzen zubringen und das Gesamtgangsystem bedingen, welches man daher in Gänge der Elternkäfer (Muttergänge), der Larven, bis zur Verpuppung in besonders ausgeprägten Puppenwiegen und schließlich in Gänge, die von den Jungkäfern bis zum Verlassen des Stammes gefressen werden, unterscheiden kann. Die Jungkäfer suchen nach vollzogener Begattung im Freien oder noch vor derselben einen anderen Wohnort auf, in dem in letzterem Falle eine besondere „Rammelkammer" angelegt wird, um dann während ihres ganzen weiteren Lebens den Stamm nicht mehr zu verlassen. Die Muttergänge sind entweder in der Rinde (Rindenbrüter) bzw. auf der

Phot. Biol. Reichsanst., Dahlem.

Abb. 239. Maikäferfraß an Birne und Frostspannerfraß an Kirsche.

Grenze zwischen Rinde und Holz oder andererseits ausschließlich im Holz (Holzbrüter) angelegt.

Ein Massenauftreten der Käfer kann zu wirtschaftlich verheerenden Kalamitäten führen. In Ostpreußen traten die Borkenkäfer in den Jahren 1857—1862 in einem Gebiet von 602000 Morgen auf und verursachten hier fast 4 Millionen Klafter Holzeinschlag. Anfang der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts brachten die Borkenkäfer 700000 Festmeter Holz zum Absterben.

Diesen Käfern und ihren Larven fallen nicht nur die Stämme des Waldes zum Opfer, sondern auch verarbeitetes Holz wie Bahnschwellen, Telegraphenstangen, Bauhölzer jeder Art usw. In Rußland sind durch den Hausbock aus Kiefernrundhölzern gebaute Forsthäuser innerhalb von 10—15 Jahren vernichtet worden. Der Deutschen Reichspost entstehen von Jahr zu Jahr zunehmende Ausgaben für den Ersatz von zerstörten Telegraphenstangen. Diese Zerstörungen sind meistens auf die Larven von Bockkäfern zurückzuführen. Diese Larven fressen während ihrer 2—3 Jahre dauernden Entwicklung erst im Splintholz und gehen bei zunehmender Größe in das Kernholz. Von außen sehen solche Stämme gesund aus, an denen sich nur die Fluglöcher der Käfer feststellen lassen. Bei dem geringsten Anlaß, wie Anstoßen, Wind usw. brechen die Stämme zusammen und können großen Schaden verursachen.

Der Maikäfer, der Freund unserer Jugend, ist auch forstwirtschaftlich ein wichtiger Käfer, der über ganz Deutschland verbreitet ist. Die Zahl dieser Käfer ist in einzelnen Jahren eine außerordentlich große, und zwar treffen diese Flugjahre der Maikäfer in Süddeutschland alle 3, in Norddeutschland alle 4 Jahre ein. Dieses hängt mit den Entwicklungszeiten der Larven der Maikäfer (Engerlinge), deren

Phot. Biol. Reichsanst., Dahlem.

Abb. 240. Von Raupen der Forleule kahlgefressene Kiefernwipfel.

Entwicklung in Süddeutschland 3, in Norddeutschland 4 Jahre dauert, zusammen. Der Maikäfer ist forstwirtschaftlich von besonderer Schädlichkeit, weil sowohl die Käfer als auch seine Engerlinge fressen. Der Engerlingsfraß ist weniger auffallend, aber viel schädlicher, da von diesem die Wurzeln der Pflanzen, in der Hauptsache Nadelbäume, angefressen werden. Der Käfer befällt hauptsächlich Laubhölzer und frißt deren Blätter. In Dänemark wird der Schaden des Maikäfers auf jährlich 7 Millionen Mark, in Frankreich auf 250 Millionen Franken geschätzt. In den Flugjahren sind ganz enorme Mengen von Maikäfern zum Zwecke ihrer Vernichtung gesammelt worden, so z. B. 1872 in Württemberg 231 Millionen, in Niederösterreich 1910 150 Waggonladungen, d. s. über 1 Million Kilogramm Käfer, in östlichen preußischen Provinzen 1889 164 Millionen Stück und in den 5 Flugjahren von 1884—1891 518 Millionen Käfer. Die gesammelten Käfer wurden zum Füttern und zur Mast von Schweinen, Karpfen, Enten und Hühnern benutzt, aber auch als Düngemittel fanden sie Verwendung, selbst zu Wagenschmiere, Druckerschwärze und Leuchtgas sind Maikäfer verarbeitet worden.

Eine weitere Gruppe von Schädlingen stellen die Vertreter der Hymenopteren (Hautflügler). Die Larven der Blatt-, Holz- und Gallwespen ernähren sich von Pflanzenteilen. Die von den Gallwespen erzeugten Auswüchse an den Trieben, Blättern, Knospen oder Früchten, die sog. Gallen, trifft man sehr häufig an (vgl. Abb. 300, Bd. II, S. 472).

Weit größer als der Schaden durch diese Insekten ist derjenige, welcher durch die Larvenformen der Schmetterlinge den Wäldern droht. Die Ordnung der Schmetterlinge enthält wohl die wirtschaftlich wichtigsten Forstinsekten. Allgemein sind diese Großschädlinge, deren periodisches Massenauftreten schon seit vielen Jahren unsere Waldbestände immer wieder bedrohen, bekannt. In den letzten Jahren sind unsere Waldungen von einem dieser Feinde, der Forleule Panolis flammea stark geschädigt worden. In den ostpreußischen Provinzen traten die Raupen dieses Schmetterlinge in ungeheueren Massen auf und fraßen in kürzester Zeit die Kiefernbestände des Waldes kahl. Im Jahre 1924 breiteten sie sich sehr schnell weiter nach Westen bis vor die Tore von Berlin aus. Drei große Fraßkom-

Phot. Dr. Voelkel, Dahlem.

Abb. 241. Durch Raupen des Kiefernspanners verursachter Kahlfraß. Der Bestand mußte eingeschlagen werden.

plexe konnte man unterscheiden. Der eine und ausgedehnteste lag im Reg.-Bez. Frankfurt a. O. und griff auf die Reg.-Bez. Schneidemühl, Liegnitz, Potsdam und Köslin über. Das zweite Fraßgebiet war im Reg.-Bez. Stettin und das dritte Massenauftreten fand sich im Reg.-Bez. Allenstein. Die Gesamtfläche, die von der Kalamität betroffen wurde, betrug über 500000 ha, davon waren etwa 170000 ha kahl gefressen, d. h. die Bäume fast vollständig ihrer Nadeln beraubt. Durch den Kahlfraß verlieren die Bäume ihre Atmungsorgane, die Nadeln, an deren Folgen die Fichten eingehen, die Kiefern dadurch stark gefährdet werden. Um dann wenigstens den Verlust etwas zu mildern, müssen die Stämme gefällt und einer Verwertung zugeführt werden. Dieser Holzeinschlag betrug in diesen Jahren als Folge des Forleulenfraßes 12 Millionen Festmeter Derbholz mit einer Nutzholzausbeute von etwa 8 Millionen Festmetern.

Im Jahre 1924 waren die Verluste trotz allem nicht so ungeheuere wie zunächst befürchtet wurde. Der Eulenfraß war verhältnismäßig früh zu Ende, ferner hatten die kühle Witterung und reichliche Niederschläge die Regeneration der Kiefern sehr gefördert. Die Forleulenkalamität brach in diesem Jahre dank der Vernichtung der Raupen durch ihre vielen Feinde zusammen.

Einer der forstlich gefährlichsten Schmetterlinge ist die Nonne Lymantria monacha. Ihre Larven befallen nicht nur die Nadel-, sondern auch die Laubbäume und befressen Nadeln, Blätter und Knospen. Das weitaus größte Massenauftreten dieses Schädlings fiel in die Jahre 1845—1858 in Rußland und Ostpreußen. In Rußland umfaßte das Fraßgebiet 34,5 Millionen Morgen, 183 Millionen Raum-

meter mußten eingeschlagen werden. In Ostpreußen wurden 107920 Morgen kahlgefressen und über 10 Millionen Raummeter eingeschlagen. Die Verheerungen neueren Datums reichen bei weitem nicht an diese Ziffern heran. In Jahren starken Auftretens dieser Schädlinge wurden an einem Baum (Fichte) bis zu 200000 abgelegte Eier dieses Schmetterlings gezählt.

Für die Bekämpfung dieser verschiedenen Forstschädlinge werden vom Reich und den Ländern jährlich größere Summen ausgegeben. Leider ist es noch nicht gelungen, der Schädlinge vollständig Herr zu werden. Das Massenauftreten der Schadinsekten ist in den meisten Fällen auf 1—3 Jahre beschränkt und bricht dann wieder zusammen. Diese starke Abnahme haben wir in erster Linie den Vögeln, Schlupfwespen, Raubinsekten, Bakterien und Pilzen zu verdanken, die sich auf Kosten der Schädlinge gleichfalls ungeheuer vermehren und einem weiteren Überhandnehmen ihrer Wirtstiere ein Ziel setzen.

In neuester Zeit wird das Flugzeug in den Dienst der Bekämpfung von Forstschädlingen gestellt, worüber in einem anderen Kapitel berichtet werden soll.

IV. Landwirtschaftliche Schädlinge.

Die landwirtschaftliche Zoologie beschäftigt sich mit der Erforschung der Nützlinge und Schädlinge der Kulturpflanzen, der Zucht und Nutzung der Haustiere und deren Parasiten. Genau so wie es Wissenschaftler gibt, die sich mit der Bekämpfung der Krankheiten des Menschen (Humanärzte) und der Tiere (Tierärzte) beschäftigen, so hat sich auch ein besonderer Zweig herausgebildet, der sich mit dem Schutz unserer Kulturpflanzen beschäftigt und diese vor Schäden, sei es tierischen oder pflanzlichen Ursprunges, zu bewahren sucht, die sog. Pflanzenärzte (Phytopathologen).

Wie bereits eingangs erwähnt, drohen unseren Kulturgewächsen in der Außenwelt dauernd Schädigungen durch Tiere oder durch Naturereignisse wie Hagel, Überschwemmungen, Trockenheit usw. Die Kenntnisse der durch die Naturereignisse hervorgerufenen Schädigungen dürfen dem Phytopathologen nicht fremd sein. Ob in einem vorliegenden Falle die Schäden auf eine Erkrankung der Pflanze, durch Tierschaden verursacht, oder auf Wirkungen von Naturereignissen, z. B. Hagel, zurückzuführen sei, ist bei der Landwirtschaft von ausschlaggebender Bedeutung, wenn es sich z. B. um Deckung der entstandenen Schäden durch Versicherungen handelt.

Die landwirtschaftliche Zoologie erstreckt sich keineswegs nur auf die großen Säugetiere; eine sehr wesentliche Rolle spielen die Insekten. Die landwirtschaftlich wichtigen und nützlichen Tiere sind bereits oben erwähnt worden.

Weit größer als die Zahl der landwirtschaftlichen Nützlinge ist jedoch die Zahl der Schädlinge, deren Bekämpfung heute auch vom Staate zum Teil angeordnet und unterstützt wird (z. B. Beseitigung der Raupennester an Obstbäumen, Bisamrattenbekämpfung usw.).

Nach fruchtbaren Jahren treten die Mäuse besonders zahlreich auf, weil sich ihnen bis in den Winter hinein besonders günstige Ernährungsbedingungen bieten.

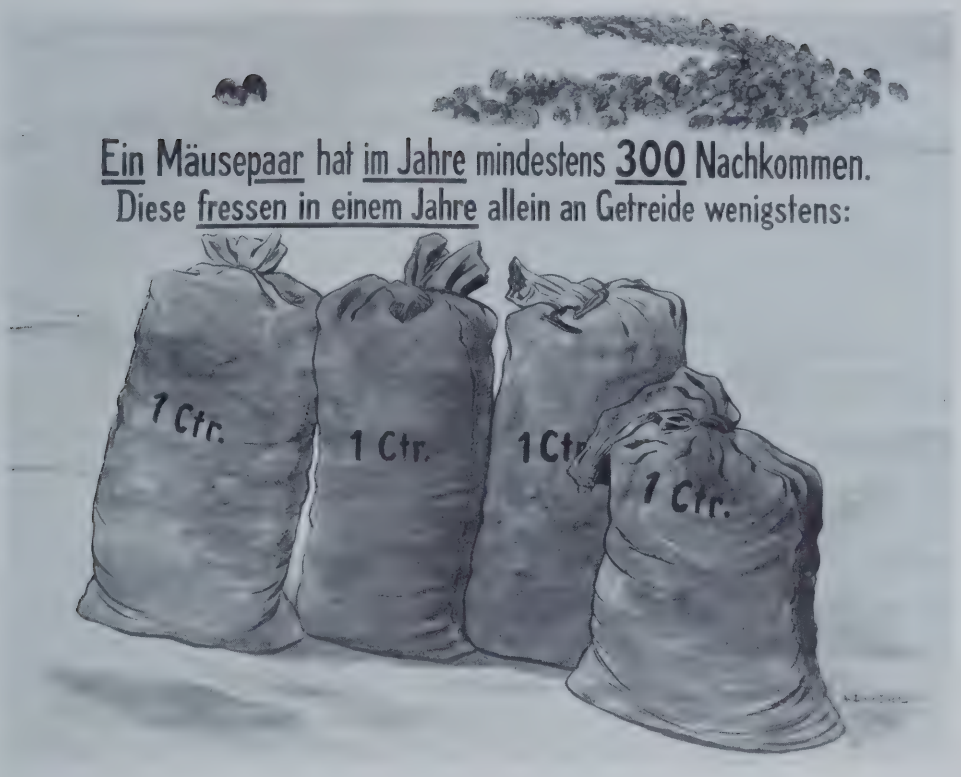
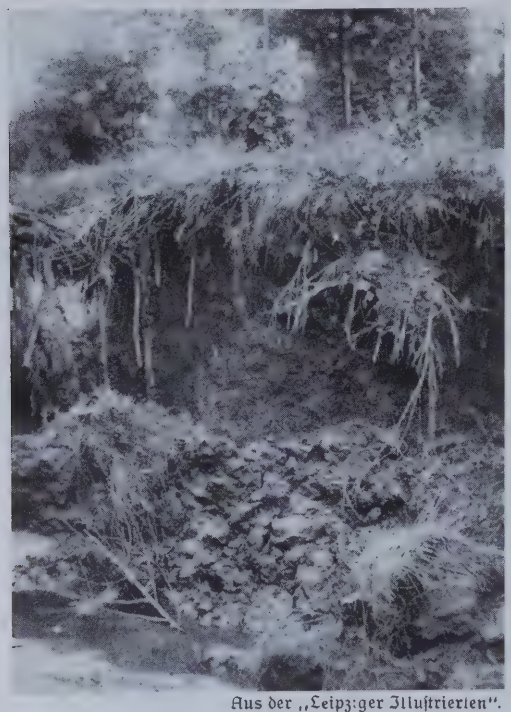


Abb. 242. Der Schaden durch Mäuse.
(Nach einem Plakat der Biologischen Reichsanstalt, Berlin-Dahlem.)

Ist der Winter außerdem noch milde und das Frühjahr zeitig warm und trocken, so ist mit Sicherheit auf eine Massenvermehrung dieser Nager zu rechnen. Die Nachkommenschaft eines Mäusepaares im Jahre ist sehr groß, welche große Mengen Getreide durch eine solche Nachkommenschaft eines Paares vernichtet werden können, zeigt Abb. 242.

Als im Jahre 1905 der Fürst Colloredo-Mansfeld auf seiner Besitzung Dobris bei Pisek in Böhmen mehrere Paare der amerikanischen Bisamratte aussetzte, ahnte er nicht, daß diese Tiere ihm keinen Gewinn und Dank einbringen würden. Der Gewinn aus den Pelzen der Bisamratte in Amerika war verlockend groß, und der Fürst gedachte, in seiner Heimat aus der Pelzverwertung der auf seinen Gütern gezogenen Bisamratten, den Nachkommen der aus Kanada eingeführten Tiere, einen netten Gewinn zu erzielen. Die Bisamratte fand in Europa günstige Lebensbedingungen und vermehrte sich rasch, aber es zeigte sich, daß das Fell dieser europäischen Ratten minderwertig war. Es ist grobhaarig und von gelblicher bis rotbrauner Farbe Die Felle der amerikanischen Bisamratte dagegen sind dunkelbraun, am Rücken schwärzlich und sehr feinhaarig. Diese minderwertigen europäischen Felle konnten natürlich eine Konkurrenz mit den Fellen amerikanischer Herkunft nicht aufnehmen. Der geringe Gewinn führte dazu, daß der Reiz des Abschießens der Tiere verloren ging, auf jeden Fall nicht mit der raschen Vermehrung der Bisam-



Aus der „Leipziger Illustrierten".

Abb. 243. Uferzerstörungen durch Bisamratten.

ratte Schritt hielt. Die Bisamratte breitete sich immer mehr in Böhmen aus und leider hat auch eine Einwanderung dieses Nagers nach Deutschland stattgefunden, so daß er jetzt schon in Bayern und Sachsen angetroffen wird.

Die amerikanische Bisamratte ist ein ausgesprochener Pflanzenfresser, die europäische Ratte hat ihren Geschmackssinn geändert, sie ist in der Hauptsache Fleischfresser geworden und ernährt sich von Fischen, Fischbrut und allerlei Wasservögeln. Neben diesen Schäden, die der Fischerei zugefügt werden, tritt die Bisamratte als Vertilger von Körnerfrüchten auf den Feldern und in Scheunen sehr schädigend auf. Durch ihre ständige Wühlarbeit ist sie als Zerstörer von Dämmen, Ufern und Straßen gefürchtet und bekannt. Ungeheure Kosten verursacht die Bekämpfung der Bisamratte alljährlich in Böhmen, Sachsen und Bayern. Es werden von Staats wegen besondere Bisamrattenschützen angestellt und für den Abschuß eines jeden Tieres Prämien gezahlt. Man hat leider auch nicht mehr die Hoffnung, die Tiere in absehbarer Zeit in Europa vollständig auszurotten, ihre Eigenschaft als Nachttier und ihre Wehrhaftigkeit schützt sie gegen viele Gefahren.

Die Kaninchen, die so zahlreich besonders während der Kriegszeiten in Haushaltungen und von Laubenbesitzern gehalten wurden, und einen delikaten, nicht der Zwangsbewirtschaftung unterliegenden Fleischzuschuß abgaben, können zu einer großen Landplage werden. Von wildernden Kaninchen kann mancher Landwirt ein Klagelied singen. Erwähnt wurde bereits, daß durch die Vernichtung der Füchse die Zahl der Kaninchen sich stark vermehren und zu einer Plage werden kann.

Die Kaninchen werden bereits in einem Alter von 6 Monaten fortpflanzungsfähig und können im Laufe eines Sommers bis zu 8 Würfen von 3—4 Jungen absetzen. Berechnet man die Zahl der Nachkommen eines Pärchens zu 8 Würfen mit 3 Jungen, so sind in der zweiten Generation bereits über 300 Tiere vorhanden. In der dritten Generation sind es weit über 4000 Kaninchen. Hat man sich die Vermehrungsfähigkeit an Hand von solchen Zahlen klargemacht, so kann man verstehen, daß an Orten, an denen man Kaninchen zunächst erst vereinzelt antraf, nach sehr kurzer Zeit eine Unmenge auftreten können. In einer Oberförsterei des Bezirkes Bromberg wurde 1897 das Vorhandensein der ersten Kaninchen festgestellt. In den Jahren 1903—1907 konnten in dieser Gegend bereits 12746 Stück vertilgt werden.

Daraus geht klar hervor, daß die Bekämpfung beim ersten Auftreten dieser Nager erfolgen muß, sollte sie in kurzer Zeit zum Erfolg führen und keine zu großen Kosten verursachen. Der durch Kaninchen angerichtete Schaden besteht nicht nur in einem Benagen und Abschälen älterer Baumstämme, im Auskratzen von junger Nadelholzsaat, sondern auch im Unterwühlen des Erdbodens bei Anlage ihrer verzweigten Baue, wodurch auch ältere Baumstämme zum Umfallen gebracht werden können. Auf Feldern kann bei einer größeren Zahl von Kaninchen die Ernte landwirtschaftlicher Kulturgewächse vollständig vernichtet werden. Die Zustände in Australien geben uns ein warnendes und erschütterndes Beispiel.

Vor etwa 65 Jahren wurde durch einen Jagdliebhaber, den Farmer John R. Collison, einige Paare lebender Wildkaninchen aus England in Südaustralien eingeführt und ausgesetzt. Diese wenigen Tiere waren der Beginn einer Landplage Australiens. Das Klima sagte den Tieren zu. Ihre natürlichen Feinde fehlten gänzlich, und so zählten sie bei ihrer ungeheuren Vermehrungsfähigkeit bald nach vielen Millionen. Ein unermeßlicher Schaden wird durch sie angerichtet. Alle Maßnahmen zu ihrer Bekämpfung nutzten bisher nichts. Bereits im Jahre 1867 schrieb die Regierung von Neusüdwales einen Preis von 25000 Pfund Sterling für ein Verfahren aus, das die Aussicht biete, diese Schädlinge auszurotten. Das Mittel ist bisher noch nicht gefunden worden. Die eingeführten Füchse, Iltisse usw. ließen eine Verminderung der Zahl der Kaninchen nicht merken. Als einziges Mittel blieb übrig, alle land- und forstwirtschaftlichen Gebiete wie Äcker, Weidegründe, Forsten usw. mit eingegrabenen Drahtnetzen zu umziehen. Durch dieses Verfahren sind dem Staate Kosten von mehreren 100 Millionen Mark entstanden. Berufsmäßige Kaninchenjäger versuchen der übermäßigen Vermehrung Einhalt zu tun. Der Gewinn durch den Verkauf der Felle ist im Vergleich zu dem verursachten Schaden dieser Tiere und den Ausgaben zu ihrer Eindämmung nur gering.

Besonders groß ist die Zahl der Schädlinge an den verschiedenen Kulturgewächsen des Menschen. Alle Teile einer Kulturpflanze sind dem Befall durch Schädlinge ausgesetzt. So werden z. B. die Wurzeln durch Drahtwürmer und Engerlinge, der Stamm und die Äste durch die Blutlaus, die Blätter und Blüten durch eine Unzahl von Insekten und die Früchte durch Larven von Käfern und Schmetterlingen vernichtet. Einige durch Schädlinge des Obst-, Gemüse- und Weinbaues verursachte Schäden und die Verbreitung der Tiere sei im nachfolgenden kurz angegeben.

Zu den bekanntesten Schadinsekten unsere Obstbäume gehören der kleine Frostspanner (vgl. Abb. 100, Bd. II, S. 176), der Apfelblütenstecher, der Schwammspinner, der Ringelspinner und die Blutlaus. Das Auftreten der Blutlaus an Apfelbäumen ist kaum zu übersehen. Die Tiere breiten sich auf dem Baume schnell aus. Die befallenen Teile, Äste, Stamm und Wurzeln, sind mit einer weißen, watteartigen Masse bedeckt. Diese Masse besteht aus feinem, krausem, bläulich-weißem Wachs, welches von den dicht gedrängt sitzenden Läusen abgesondert wird. Beim Zerdrücken der Läuse tritt aus ihnen ein blutfarbiger Saft aus, der den Tieren den volkstümlichen Namen verschafft hat. Die Blutläuse bohren ihre Mundwerkzeuge in die pflanzlichen Gewebe ein und entziehen auf diese Weise dem Baume zum Zwecke ihrer eigenen Ernährung den Saft. An den verholzten Teilen des Baumes rufen sie Wucherungen hervor, welche die Rinde zum Bersten bringen. Schließlich führen diese Wucherungen zu

krebsartigen Geschwüren der Obstbäume, deren Ertrag durch den ständigen Saftentzug schon bei geringerem Befall gemindert ist. Besonders verheerend tritt die Blutlaus in einigen Gegenden Süddeutschlands auf, so daß sich die Bevölkerung gezwungen sieht, den Anbau von Apfelbäumen vollständig einzustellen.

Phot. Biol. Reichsanst., Dahlem.

Abb. 244. Apfelbaum, stark von Blutläusen befallen.

Von den Käfern, die dem Obstbau großen Schaden verursachen können, sei nur der Apfelblütenstecher Anthonumus pomorum erwähnt. Dieser Rüsselkäfer verläßt schon sehr früh im Jahre sein Winterversteck und sticht die noch nicht entfalteten Blütenknospen an. Die Weibchen legen in die Knospen ihre Eier ab. Die jungen Larven fressen die Staubgefäße und Stempel der Blütenanlagen auf, wodurch die Blütenblätter der Knospe eintrocknen und sich rotbraun verfärben. Im Mai oder Juni schlüpfen bereits die Jungkäfer aus und verlassen die eingetrockneten

Knospen. An einen Ertrag von solchen stark befallenen Apfelbäumen ist natürlich kaum zu denken. Die Bekämpfung besteht in einem Abfangen der Käfer und Anlegen von Fanggürteln im Herbst.

Die nächsten hier angeführten Beispiele zeigen uns, welch großen Schaden die Einschleppung von Schädlingen verursachen kann, aber auch wie solche Schädlinge erfolgreich bekämpft werden konnten dank der genauen Erforschung ihrer Biologie in der ursprünglichen Heimat.

Phot. Dr. Voelkel, Dahlem.

Abb. 245. Krebsgeschwüre an Apfel als Folge des Befalls durch Blutläuse.

In den Vereinigten Staaten von Amerika richtete in den Obstplantagen an Äpfeln, Feigen, Quitten, insbesondere aber an Zitronen- und Apfelsinenbäumen eine Schildlausart Iceryia Purchasi jahrelang einen verheerenden Schaden an. Ganze Zweige dieser Bäume waren mit diesen Schildläusen bedeckt. Ein gewinnbringender Ernteertrag war natürlich nicht zu erwarten. Da befaßten sich einige Forscher mit der Biologie dieser Schildläuse und stellten fest, daß dieselben Schildläuse in Australien einheimisch sind und von dort aus nach Kalifornien eingeschleppt

wurden. In Australien waren die Schildläuse nie als Schädlinge aufgefallen. Eine nähere Prüfung ergab, daß die Schildläuse in Australien einen natürlichen Feind in dem Marienkäfer Novius cardinalis besitzen, der ihre große Vermehrung verhinderte. Das vollständige Fehlen dieses Käfers in Amerika führte zu dem verheerenden Auftreten der Schildläuse. Die Käfer wurden daraufhin künstlich auf-

Phot. Biol. Reichsanst., Dahlem.

Abb. 246. Wolläuse, Verwandte der Blutläuse, an Geißblatt.

gezogen und ernährt und dann auf Eis nach Amerika versandt und auf einige Apfelsinenbäume bei Los Angeles ausgesetzt. Das Resultat übertraf alle Erwartungen. Die Käfer fielen sofort über die Schildläuse her und begannen mit der Eiablage. Bereits nach einigen Tagen waren die Larven der Käfer geschlüpft, die sich gleichfalls von den Schildläusen ernährten. Da ein Käfer etwa 300 Eier ablegt und in einem Jahre mehrere Generationen vorkommen, fand eine starke Vermehrung dieser nützlichen Insekten statt und die Schildläuse verschwanden sehr bald. Nach 5 Jahren war in ganz Kalifornien kaum eine von diesen Schildläusen zu finden.

Der Schwammspinner gehört in Nordamerika zu den schlimmsten Schädlingen. Er ist aus Europa dorthin eingeschleppt worden. Dieses Beispiel der nachteiligen und nachhaltigen Folgen einer Verschleppung eines Schädlings ist so gut mit genauen Daten belegt, daß es wirklich verlohnt, etwas genauer darauf einzugehen. Escherich berichtet hierüber:

„Im Jahre 1868 machte ein Franzose »Künstler, Naturalist und Astronom« namens Trouvelot in Medford Mass. Versuche mit allen möglichen spinnenden Raupen, in der Absicht, durch Kreuzungen neue brauchbare Arten für die Seidengewinnung zu erhalten. Unter den Versuchstieren befand sich auch der Schwammspinner, der im Eizustand aus Europa bezogen worden war. Da passierte eines

Tages das Malheur, daß eine Anzahl Raupen aus den Zwingern entkam und sich in die Nachbarschaft zerstreuen konnten. Trouvelot suchte zwar, Unheil ahnend, sofort die Flüchtlinge wieder unschädlich zu machen, so gut es ging, und wies auch öffentlich auf die Gefahren, die dem Lande aus dem Vorfall erwachsen können, hin. — Trotzdem aber gelang es nicht, das Feuer im Keime zu ersticken. Anfangs allerdings ging die Vermehrung und Verbreitung nur sehr langsam vor sich, so daß man dem Fremdling keine besondere Beachtung schenkte und der obige Vorfall in Vergessenheit geriet. Wurde irgendwo ein Baum kahlgefressen, so schob man die Schuld auf irgendeine der zahlreichen einheimischen entblätternden Raupen, die ja stets da oder dort einmal sich bemerkbar machen. Doch allmählich wurde die Plage so groß, daß die allgemeine Aufmerksamkeit auf sie gelenkt wurde. Im Jahre 1889 war nach Fernald manche Straße von Medford geradezu überschwemmt von den Schädlingen. Man trat fortwährend auf Raupen, die von den Bäumen herabgefallen waren, und lief stets Gefahr, auf dem durch die zertretenen Tiere klitschigen Boden auszurutschen. Ja, die Raupen drangen sogar in die Häuser ein und entblätterten die dort befindlichen Blumen und störten die Menschen im Schlaf. Manche Häuser waren so dicht bedeckt von ihnen, daß man die Farbe der Wände gar nicht erkennen konnte; und die Luft war erfüllt von einem ekelerregenden Geruch, der von den Kotmengen und unzähligen verwesenden Tieren ausging. Aber nicht nur die Stadt Medford war in dieser Weise heimgesucht, sondern der Schädling hatte sich bereits auch über mehr als 100 Quadratmeilen verbreitet, überall ähnliches Unheil anrichtend."

Phot. Biol. Reichsanst., Dahlem.

Abb. 247. Schildläuse an Robinia (falsche Akazie).

Phot. Biol. Reichsanst., Dahlem.

Abb. 248. Junge Ringelspinnerraupen haben den ganzen Ast eines Birnbaumes mit ihrem Gespinst, in dem die alten Häute hängen, überzogen. Sie sitzen in „Nestern" zusammen und unternehmen von hier aus ihre Züge zum Fraß.

Eine energische Aktion zur Bekämpfung des Schwammspinners Liparis dispar wurde eingeleitet und vom Staate unterstützt. Mit Leimringen, Spritzen mit giftigen Flüssigkeiten, Niederbrennen der stark befallenen Wälder usw. wurde gegen die Schädlinge vorgegangen. Bis zum Jahre 1899 war etwa 1 Million Dollar für die Bekämpfung verausgabt. Der Erfolg war gut, indem die Zahl der Tiere stark vermindert und die weitere Ausbreitung verhindert wurde.

Die Behörden ließen darauf den Kampf ruhen und bewilligten keine weiteren Mittel. Die Folge war, daß die Schwammspinner sich wieder stark vermehrten und weiter ausbreiteten, so daß 1904 etwa 2300 Quadratmeilen befallen waren. Die Obstgärten und Wälder wurden zerstört, die Straßen ihrer schattenspendenden Bäume beraubt usw. Die Behörden sahen sich gezwungen, den Kampf wieder aufzunehmen, und zwar nahm sich die Zentralregierung in Washington der Bekämpfung an. Die Gesamtkosten der durchgeführten Bekämpfungsmaßnahmen stellten sich auf etwa 1 Million Dollar jährlich.

Es galt vor allen Dingen, eine weitere Ausbreitung des Schädlings zu verhindern und innerhalb der befallenen Gebiete die Vermehrung der Tiere soweit wie möglich herabzumindern. Die einzelnen Maßnahmen, die getroffen wurden, sollen hier nicht erwähnt werden, genug, es geschah alles, was irgend dazu beitragen konnte, der Schädlinge Herr zu werden. Trotzdem breiteten sie sich weiter aus und im Jahre 1911 war bereits ein Gebiet von 11000 Quadratmeilen von ihnen befallen.

Alle irgendwie erreichbaren Parasiten des Schwammspinners in seiner ursprünglichen Heimat wurden nach Amerika gebracht, hier in besonderen Labora-

torien herangezüchtet und im Freien ausgesetzt. Einen gewissen Erfolg hat die biologische Bekämpfung in diesem Falle bereits aufzuweisen, doch ist heute der Kampf noch nicht abgeschlossen. —

Der Weinbau warf in früheren Jahren einen netten Gewinn ab. Heute bringt 1 ha Rebgelände kaum soviel ein, wie 1 ha Kartoffeln, dagegen ist die Bebauung eines Weinberges weitaus kostspieliger und arbeitsreicher. Diese Unwirtschaftlichkeit des Weinbaues führte dazu, daß in den letzten Jahren in vielen Gegenden Deutschlands der Weinbau eingestellt worden ist. Dieser Rückgang betrug in Deutschland im Jahre 1916, verglichen mit der Rebfläche im Jahre 1906, rund 25%. Die Ursache der Unwirtschaftlichkeit und daher auch dieses Rückganges liegt in der Hauptsache im starken Umsichgreifen der Krankheiten und der Ausbreitung der Schädlinge des Weinstockes. Der Direktor des Badischen Weinbauinstitutes kommt aus diesem Grunde zu dem Schluß, daß die Schädlingsbekämpfung für den Zukunftsweinbau in Deutschland von geradezu entscheidender Bedeutung ist. „Weinbau treiben heißt heutzutage in der Hauptsache die Rebkrankheiten sachgemäß und so billig wie möglich zu bekämpfen."

Die Krankheiten und Schädlinge des Weinstockes sind aus Amerika zu uns eingeschleppt worden. Eine Immunität gegen diese Schädigungen besaßen unsere Weinstöcke leider nicht, so konnten sich die Krankheiten immer weiter ausbreiten und ganze Weinbaugebiete verheeren. Den größten Schaden verursachen im Weinbau, abgesehen von parasitären Krankheiten, die Reblaus und der Heu- und Sauerwurm. Der Schaden, den die Reblaus dem Weinbau zufügt, wird bei den Bekämpfungsmaßnahmen besprochen werden.

Der Heu- und Sauerwurm ist ein unscheinbarer Schmetterling, der in zwei Generationen im Laufe eines Sommers auftritt, von denen jede einen besonderen Namen (noch aus der Zeit, da man die Tiere für zwei verschiedene Arten hielt) führt. Diese kleinen Motten können als der verbreitetste und gefährlichste Schädling des Rebstockes bezeichnet werden. Die Traubenwicklerweibchen legen ihre Eier in der Nähe der Blütenstände (Gescheine) ab. Die ausschlüpfenden Raupen bohren sich in eine

Phot. Biol. Reichsanst., Dahlem.

Abb. 249. „Neugegründetes Nest" von Ringelspinnern an Birne.

Phot. Biol. Reichsanst., Dahlem.

Abb. 250. Vom Sauerwurm zerstörte Weintraube.

Phot. Biol. Reichsanst., Dahlem.

Abb. 251. Traubenwickler auf einem Weinblatt.

Knospe der Gescheine ein, zerstören die Staubgefäße und die Fruchtknoten und wandern dann in die nächste Knospe über, mit einem Gespinstfaden die einzelnen Knospen verspinnend. Die Raupen der Sommergeneration (Sauerwurm) bohren sich durch die Beerenhaut in die Beeren ein und zerstören deren Inhalt. Der angerichtete Schaden der ersten Generation, des Heuwurmes, besteht nicht nur darin, daß von einer Raupe ein großer Teil der Beeren zerstört wird, sondern auch durch eine Behinderung der Weiterentwicklung der unverletzten Beeren durch das Verspinnen. Der Sauerwurm frißt die Beeren bis auf die Kerne aus, benagt andererseits andere Beeren, so daß Pilze und Bakterien eindringen und alle Beeren der Traube zugrunde gehen können. Als Bekämpfungsmittel stehen uns vorläufig verschiedene Spritz- und Stäubemittel zur Verfügung. —

Wie groß die Zahl der Schädlinge an Getreidesorten ist, zeigt eine Aufstellung aus dem Jahre 1922. Danach waren bekannt:

an Weizen 53 Schädlinge,
an Roggen 34 Schädlinge,
an Gerste 20 Schädlinge,
an Hafer 12 Schädlinge.

Leider haben sich die Zahlen in den letzten Jahren durch genaue Beobachtungen und Forschungen noch vergrößert. Der Weizen, der mit 43% die erste Stelle im Welthandel einnimmt, wird am meisten heimgesucht. Deutschlands Hauptfrucht, der Roggen, steht an zweiter Stelle. —

Als Beispiel eines Feldschädlings seien der Kohlweißling und die Kohleule erwähnt. Im Sommer 1924 war der Flug der Kohlschädlinge ein sehr großer. Allenthalben sah man im Juni und Juli über den Kohlfeldern eine Unmenge von Faltern, tagsüber des Kohlweißlings und des Rapsweißlings und in der Dämmerung solche der Kohl-

Phot. Biol. Reichsanst., Dahlem.

Abb. 252. Blattwickel des Rüsselkäfers Rhynchites betuleti.

Phot. Prof. Hase, Dahlem.

Abb. 253. Eine Kohlpflanze, von Weißlingsraupen befressen.

eule fliegen, welche ihre Eier auf die Kohlpflanzen ablegten. Die nach einigen Tagen schlüpfenden Räupchen fielen über die Kohlpflanzen her und fraßen deren Blätter an. Die Nahrungsmenge, die von einer solchen Raupe im Laufe ihres Lebens aufgenommen wird, ist sehr groß. In dem genannten Jahre sah man in Norddeutschland ganze Kohlfelder buchstäblich kahlgefressen. Nur an den verschonten Blattrippen konnte man erkennen, daß auf den Feldern Kohl gepflanzt war. Dieser Ernteausfall fügte der Landwirtschaft ungeheuere Verluste zu.

Bei einer näheren Untersuchung der abgelegten Eier dieser Kohlschädlinge in Berlin-Dahlem zeigte es sich, daß ein Teil derselben angestochen war. Aus den angestochenen Eiern schlüpften nach einiger Zeit winzig kleine Schlupfwespen, eines der kleinsten überhaupt bekannten Insekten. Diese Schlupfwespen Trichogramma evanescens wurden in einem Laboratorium der Biologischen Reichsanstalt in Berlin-Dahlem gezüchtet und vermehrt, um dann auf einem Kohlfelde, welches wohl zahlreiche Eigelege der Kohleule und des Kohlweißlings aufwies, jedoch keinen Befall durch diese Schlupfwespe zeigte, ausgesetzt zu werden. Nach 6 Wochen hatten sich die 30 ausgesetzten Schlupfwespen so stark vermehrt und die Eier der Schmetterlinge so radikal vernichtet, daß an den Kohlpflanzen eines Gebietes von 100 qm kaum ein Fraßschaden durch die Raupen der genannten Kohlschädlinge festzustellen war. Dank der Tätigkeit dieser winzig kleinen Wespe war die Kohlernte auf diesem Gebiet gerettet. Die biologische Bekämpfung hatte hier, wenn auch nur im kleinen, einen großen Erfolg erzielt.

Einen sehr großen Schaden verursachte in den letzten Jahren die Rübenfliege. Der Schaden durch diesen Schädling — auch Runkelfliege oder Zuckerrübenfliege genannt — war in den letzten Jahren stellenweise so groß, daß die bestellten Felder wieder umgebrochen werden mußten. Die Larven dieser Fliege fressen das Blattgewebe zwischen der Blattunterseite und Oberseite auf. Die Blätter fallen infolge-

Abb. 254. Ein Kohlfeld, von Raupen des Kohlweißlings befressen.

dessen zusammen und vergilben. Den größten Schaden verursachen die Larven der ersten Generation. Der Schaden der zwei weiteren Generationen fällt nicht mehr so stark ins Gewicht, weil zu der Zeit ihres Auftretens die Blätter der Nährpflanze bereits größer sind. Der Verlust der kleinen jungen Blätter führt in den meisten Fällen zum Tode der jungen Pflanzen. Zur Verhütung der Ausbreitung der Rübenfliege sind die Felder von Melde- und Gänsefußpflanzen, an denen sich die Fliegen gern aufhalten, rein zu halten. Unter den Schlupfwespen und Raubfliegen haben diese Schädlinge eine Anzahl Feinde. Sehr gerne werden die Larven der Rübenfliege auch von Staren gefressen. Doch die Unterstützung durch alle diese Tiere genügt nicht, um den Schaden der Rübenfliege auf ein Mindestmaß zu beschränken.

Der Anbau von Mais hat in den Jahren nach dem Kriege in Deutschland, speziell in Baden, immer mehr an Boden gewonnen. Mit dieser Ausbreitung des Maisbaues hat aber leider auch ein Verbreitung des Maiszünslers Pyrausta nubilalis stattgefunden, eines Schädlings, der fast über die ganze Erde verbreitet ist, und bei uns bisher nur an Hopfen schädigend aufgetreten war. In Amerika wurde 1920 der Ernteverlust an Mais auf 119 Millionen Dollar berechnet. In Ungarn wurde 1918 $^1/_4$ der Maisernte durch den Maiszünsler zugrunde gerichtet. In Rußland ist während einiger Jahre die ganze Ernte durch diesen Schädling vollständig vernichtet worden. Der Schaden an Hopfenstöcken in Deutschland ist mehrfach ungeheuer gewesen, so z. B. 1903 in Mittelfranken, wo etwa nur 10 % des Hopfenbestandes von diesen Kleinschmetterlingen verschont geblieben waren.

In den letzten Jahren nach dem Kriege sind unsere Futterpflanzen durch die Einschleppung und Ausbreitung von neuen Schädlingen bedroht. Es heißt hier, die Gefahr erkennen und rechtzeitig eingreifen, damit keine Einbürgerung dieser Schädlinge stattfindet und ganze Erträge und Erwerbszweige vernichtet werden.

Es sei hier nur des Koloradokäfers gedacht (vgl. Abb. 105, Bd. II, S. 198).

Der Kartoffel- oder Koloradokäfer tritt bereits seit 1859 in Amerika schädigend auf. Da der Kartoffelbau in Amerika jedoch nicht eine solch große Bedeutung besitzt wie bei uns, so hat man sich mit dem Schaden, den der Käfer jährlich verursacht, abzufinden gesucht. An vielen Stellen des Landes ist der Kartoffelbau vollständig aufgegeben worden. Der jährlich durch den Koloradokäfer verursachte Schaden wird in Amerika auf über 10 Millionen Mark veranschlagt. Eine Ausbreitung des Kartoffelkäfers in Deutschland würde zu einer Katastrophe führen. Bereits viermal ist es diesem etwa 1 cm großen Käfer gelungen, sich örtlich in Deutschland festzusetzen und auszubreiten, doch dank der Aufmerksamkeit der Bevölkerung und dem energischen Zufassen der verantwortlichen Stellen der Regierung vermochte man, ihn in kürzester Zeit wieder zu vernichten. So war es im Jahre 1877 in Mühlheim am Rhein, im gleichen Jahre bei Torgau Prov. Sachsen, 10 Jahre später 1887 bei Lohe und wiederum bei Torgau und 1914 bei Stade. Mit Hilfe von Landarbeitern, teilweise auch unter Hinzuziehung von Militär wurde durch strenge Absperrmaßnahmen, Absuchen der Kartoffelpflanzen nach Eiern, Larven und Käfern, Verbrennen der Stauden, Umpflügen des Bodens und Durchtränkung des ganzen Ackers mit Petroleum und Rohbenzol die ganze Brut vernichtet. Der entstandene Verlust wurde den Ackerbesitzern ersetzt. Die entstandenen Kosten, 30000 bis 50000 Mark in jedem einzelnen Falle, trug der Staat. Da der Koloradokäfer jetzt über ganz Amerika verbreitet ist, ist die Gefahr einer erneuten Einschleppung nicht be-

Phot. Biol. Reichsanst., Dahlem.

Abb. 255. Schaden durch die Rübenblattwanze Piesma quadrata.

Phot. Dr. Zwölfer, Rastatt.

Abb. 256. Vom Maiszünsler befallenes Maisfeld. Die Blütenstände (Fahnen) sind infolge des Fraßes der Raupen in den Maisstengeln umgeknickt.

seitigt. Diese Gefahr ist in den letzten Jahren noch vergrößert worden durch das Auftreten des Kartoffelkäfers in Frankreich. 1922 ist durch einen Landwirt in der Gironde in der Nähe von Bordeaux der Schädling auf Kartoffelpflanzungen entdeckt worden. Durchgeführte Nachforschungen ergaben, daß der Käfer bereits auf einer Fläche von 250 qkm stellenweise auftrat. Sofort wurden alle Maßnahmen

gegen eine Ausbreitung und zur Vernichtung dieses gefürchteten Schädlings getroffen. Im Jahre 1923 hatte der Kolorado-käfer sich über ein großes Gebiet Frankreichs ausgedehnt. In diesem Jahre sind 210000 Franken für Bekämpfungsmaßnahmen ausgegeben worden. Der Wert der durch Bekämpfungsmaßnahmen geretteten Ernte wurde auf rund 7 Millionen Franken veranschlagt. Die Kosten machen somit kaum 3% des erhaltenen Wertes aus. Leider ist es in Frankreich noch nicht zu einer vollständigen Ausrottung des Käfers gekommen, im Gegenteil, das Befallsgebiet hat sich im Laufe des Jahres 1925 noch vergrößert. In Deutschland heißt es nun ganz besonders scharf

Phot. Dr. Zwölfer, Kastatt.
Abb. 257. Falter des Maiszünslers, auf einem Maisblatt sitzend.

Phot. Biol. Reichsanst., Dahlem.
Abb. 258. Fraß der Raupe des Maiszünslers an einem Maiskolben.

aufpassen, da der Feind unseres Kartoffelbaues schon nahe ist. Besonders groß war die Gefahr einer Verseuchung Deutschlands durch die Anwesenheit der französischen Truppen am Rhein, weil bei dem naturgemäß größeren Wechselverkehr dieser Truppen mit ihrem Heimatlande die Schädlinge durch Sachen oder Personen von ihrem Ausbreitungsgebiete, trotz der umfassenden Vorsichtsmaßnahmen, verschleppt werden konnten. Die Kenntnis dieses Käfers und seiner Larvenform ist daher ein unbedingtes Erfordernis jedes Deutschen. Aus diesem Grunde werden vom Reich und den Staaten aufklärende Schriften und Abbildungen des Kartoffelkäfers verbreitet. —

Leider sind unsere Kulturpflanzen nicht nur auf dem Felde während der Wachstumsperiode dauernd Gefahren und Schädigungen ausgesetzt, auch die geernteten Früchte werden mit einer Vernichtung durch die verschiedensten Tiere bedroht. Man denke nur an die verschiedenen Nager, die sich auf Speichern und in Vorratsräumen unliebsam bemerkbar machen. Aber auch hier stellen die Insekten die größte Zahl der Feinde. Durch die Mehlmotte und den Kornkäfer, mit denen wohl jede Hausfrau in der Nachkriegszeit Bekanntschaft gemacht

Abb. 259. Der Koloradokäfer.
Nach einem Flugblatt der Biologischen Reichsanstalt, Berlin-Dahlem.

hat, werden alljährlich Getreide und die Erzeugnisse aus diesem im Werte von vielen Millionen Mark für die menschliche Ernährung unbrauchbar gemacht. Der Schaden durch den Reiskäfer Calandra oryzae allein wird in Amerika auf über 200000 Dollar jährlich geschätzt.

Die Verbreitung der Mehlmotte ist allgemein. Gibt es doch wohl in Deutschland keine Mühle und keinen Speicher, in denen dieser Kleinschmetterling nicht zu finden ist. Bei der Mehlmotte ist es wie bei den meisten Schädlingen nur das eine Entwicklungsstadium der Insekten (die Raupen) das uns den Schaden verursacht, indem es die für den Menschen wertvollen Stoffe als Nahrungsmittel zu sich nimmt, sie befrißt und hierdurch für den weiteren menschlichen Gebrauch wertlos macht. Die Raupe nimmt alle Arten von Mehl, Mehlprodukten, Körnerfrüchten, Kakao usw. (die Speisekarte ist ungeheuer groß) als Nahrung zu sich. Die Nahrungsmenge, die diese Larven im Laufe ihres Lebens vertilgen, ist nicht so groß, daß man das Tier aus diesem Grunde zu den Großschädlingen rechnen würde. Weit größer

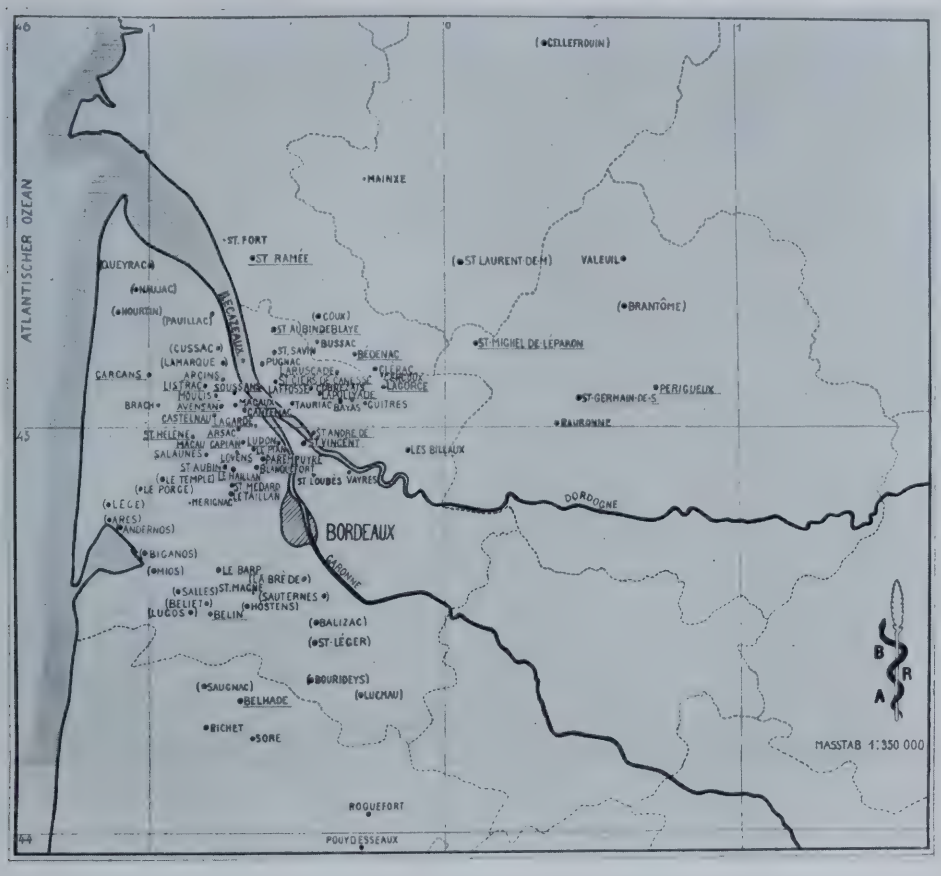
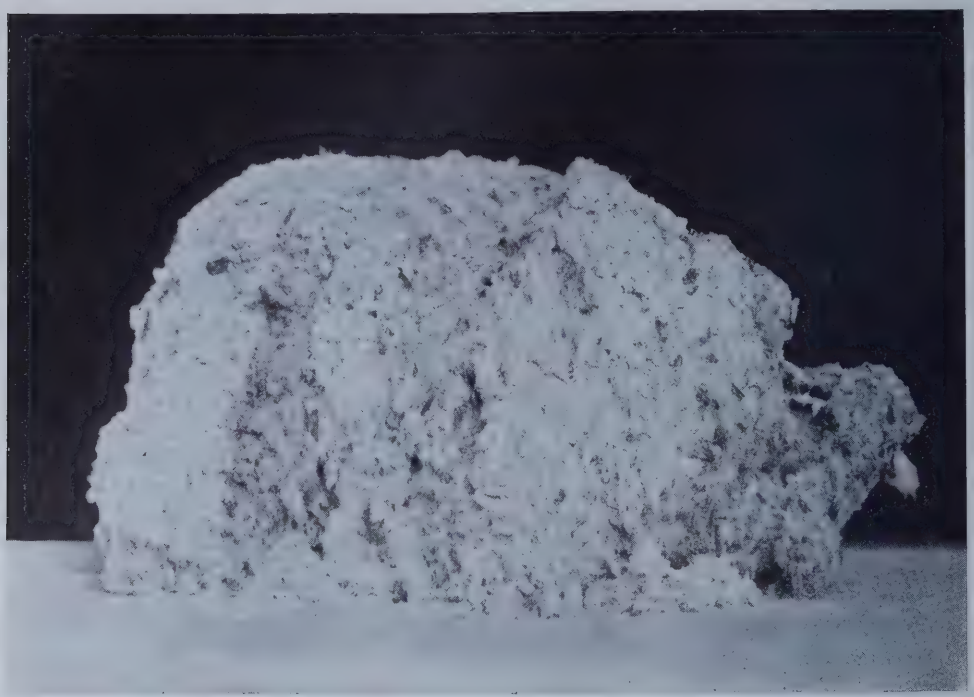


Abb. 260. Karte der Verbreitung des Koloradokäfers in Frankreich 1926.
Nach einer Tafel der Biologischen Reichsanstalt, Berlin-Dahlem.

ist der Schaden, den die Raupen der Mehlmotte durch ihr Verspinnen verursachen. Die Raupen ziehen beim Umherlaufen dauernd einen feinen Spinnfaden hinter sich her. Da dieser Spinnfaden klebrig ist, so bleiben alle in seiner Umgebung liegenden Mehlteilchen an ihm haften, und die befallene Ware wird allmählich zu einem großen zusammenhängenden Klumpen versponnen. Es kam in der Nachkriegszeit öfters vor, daß Hausfrauen eine mit vieler List und Mühe erworbene geringe Menge Mehl, Haferflocken, Grieß oder dgl. in ihr Vorratsschränkchen stellten; als sie diese Schätze nach einiger Zeit in Gebrauch nehmen wollten, entdeckten sie zu ihrem Schrecken, daß die Vorräte von Spinnfäden durchzogen oder zu einem großen Klumpen versponnen und somit für die Ernährung so gut wie unbrauchbar geworden waren. Die Mehlmotten sind wohl die größte Plage für unsere Mühlen, sie setzen sich hier in allen Teilen fest und verspinnen das Mehl. Die Gespinste werden allmählich so dicht, daß die Mehlprodukte nicht mehr weitergeleitet werden. Die Mühle muß einige Tage stillgelegt und die einzelnen Teile mechanisch gereinigt werden. Das ergibt natürlich einen Ausfall an Produktion und naturgemäß einen solchen an Verdienst und hierdurch wiederum eine Verteuerung der Ware.



Phot. Dr. Voelkel, Dahlem.

Abb. 261. Von Raupen der Mehlmotte versponnenes Mehl.

Die größeren Mühlen lassen heute ihre Betriebe regelmäßig mit Blausäure durchgasen, um einem Überhandnehmen dieser Plagegeister vorzubeugen.

Außer der Mehlmotte kennen wir noch eine ganze Reihe von Schädlingen unserer Vorräte. Erinnert sei bloß an den Kornkäfer, den Mehlkäfer, dessen Larven jedem Vogelliebhaber als sog. Mehlwürmer bekannt sind, den Brotkäfer, den Diebkäfer, den Bohnenkäfer, den Reiskäfer, den Messingkäfer usw., eine große Anzahl von Kleinschmetterlingen, Wanzen, Schaben und die kleinen, aber unangenehmen Milben. In der Regel kommen alle diese Schädlinge nur dort vor, wo größere Mengen von Getreide und Getreideprodukten lagern, also z. B. auf Getreidespeichern, in Silos, Schuppen, auf Schiffen, die zum Transport von Getreide benutzt werden, in Mühlen usw. Von diesen Orten werden sie verschleppt in die Geschäfte, Bäckereien und Haushaltungen. Hier werden die Produkte meistens sofort weiterverwandt. Da die Tiere gegen eine Beunruhigung sehr empfindlich sind, wandern sie ab und daher kommt es, daß die Hausfrau nur selten etwas von diesen unangenehmen Gästen merkt.

Der Schaden, der jährlich durch die Vorratsschädlinge dem Volksvermögen zugefügt wird, kann nicht genau angegeben werden; versucht doch jeder Geschäftsmann ganz zu Unrecht, das Auftreten eines Schädlings in seinem Betriebe zu verheimlichen. Deswegen können die Bekämpfungsmaßnahmen auch nicht sofort beim ersten Bemerken von Schädlingen in Angriff genommen werden. Wendet der Geschädigte sich dann Hilfe heischend an die zuständige Stelle, so ist es meistens

schon so weit, daß seine ganzen Vorräte kaum noch zu retten sind und naturgemäß der Schaden ein sehr großer ist. In Amerika wird der Gesamtverlust an lagernden Lebensmitteln auf etwa 850 Millionen Mark jährlich geschätzt. Hiervon beträgt allein der vom Reiskäfer verursachte Schaden etwa 117 Millionen Mark.

Besonders groß ist der Schaden durch diese Tiere in den wärmeren Ländern, und es besteht die Gefahr, da wir auf eine Einfuhr von Getreide aus dem Auslande angewiesen sind, daß wir von dort neuen Zuzug erhalten. Deshalb muß

Nach Prof. Hase, Dahlem.

Abb. 262. Vom Kornkäfer Calandra granaria hohlgefressenes Roggenkorn (unten) und Weizenkörner (oben).

die Einfuhr von Lebensmitteln einer ständigen Kontrolle unterzogen werden. In der Nachkriegszeit erhielten wir mehrmals aus dem Auslande Getreidesendungen, die bei ihrer Ankunft in deutschen Häfen so verseucht waren, daß sie sofort vernichtet werden mußten. Die Kosten für das Getreide, für den Transport, das Verladen und schließlich für die Vernichtung belasteten natürlich wiederum die Allgemeinheit. Durch die Auslandstransporte können uns eine ganze Reihe von neuen Schädlingen beschert werden, denen die klimatischen Verhältnisse in Deutschland zusagen würden. Es wäre dann mit einer Vermehrung der Schädlinge und einer Verseuchung unserer Lebensmittellager zu rechnen. Hierher gehört eine ganze Reihe von Schädlingen, welche bereits mehrmals bei uns eingeschleppt worden sind, deren Ausbreitung aber bisher verhindert werden konnte (Getreidekapuziner in indischem Weizen, der mexikanische Kornkäfer, der kolumbische Maiskäfer, der La-Plata-Maiskäfer, die Reismotte in Kakao usw.). Zu Schädlingen, die in anderen Ländern bereits eine große Verbreitung gefunden haben, bei uns mehrmals aufgetreten sind, jedoch noch nicht heimisch werden konnten, gehört auch der Khaprakäfer.

Die Heimat des Khaprakäfers ist Indien. Von dort ist er mit Weizen nach England gelangt und jetzt sehr verbreitet. In Deutschland ist er zum ersten Male im Jahre 1921 festgestellt worden. Zwei Jahre später trat er erstmalig in größerer Menge in einer Brauerei Nordwestdeutschlands auf, wo er sich in den Malzlagern sehr wohl fühlte und stark vermehrte. Dieses Auftreten gab Gelegenheit, die Biologie dieses Schädlings einem genaueren Studium zu unterziehen. Auf Grund dieser Untersuchungen konnten dann Bekämpfungsmaßnahmen angegeben werden, die zu seiner völligen Vernichtung führten. Der Khaprakäfer ist ein heimtückischer Feind der Brauerei und speziell ihrer Malzlager. Durch besondere Haare seiner Larven können diese Tiere sehr leicht durch Säcke und die Kleider der Arbeiter verschleppt werden.

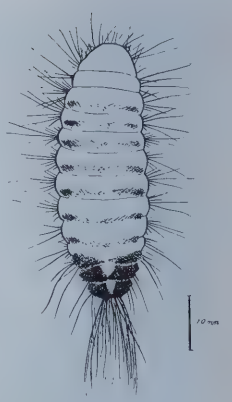
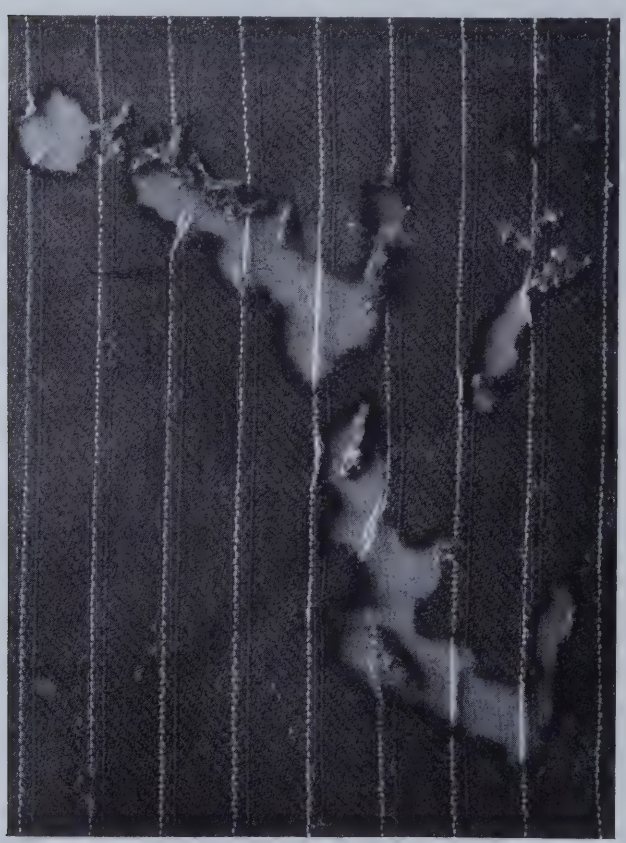


Abb. 263. Larve des Khaprakäfers (n. Voelkel).

Neben diesen Schädlingen an Lebensmitteln, die gelegentlich auch in Haushaltungen vorkommen können, sind von den Hausfrauen die Kleidermotte und Pelzmotte besonders gefürchtet. Der durch sie verursachte Schaden ist nur zu bekannt, als daß darüber viel gesagt zu werden braucht. Mit der Benutzung von sog. mottenechten Stoffen, Wollsachen und Pelzen, was durch eine geeignete Behandlung mit einem chemischen Mittel erreicht wird, ist die ständige Furcht und Gefahr für die Hausfrau beseitigt.



Phot. Dr. Voelkel, Dahlem.

Abb. 264. Von Kleidermotten zerfressenes Stück Hosenstoff. Die Raupen fressen nur Wolle; der weiße Baumwollfaden wird verschont.

Einen größeren Schaden an Vorräten und Lebensmitteln richten die Ratten an. Besonders gefährlich unter diesen ist die Wanderratte, die sich in den letzten Jahren ganz gewaltig verbreitet hat. Wo sie hinkommt, verdrängt sie die weniger unangenehme Hausratte. Die schnelle Ausbreitung der Wanderratte erhellt aus Versuchen, die in England angestellt worden sind. Aus

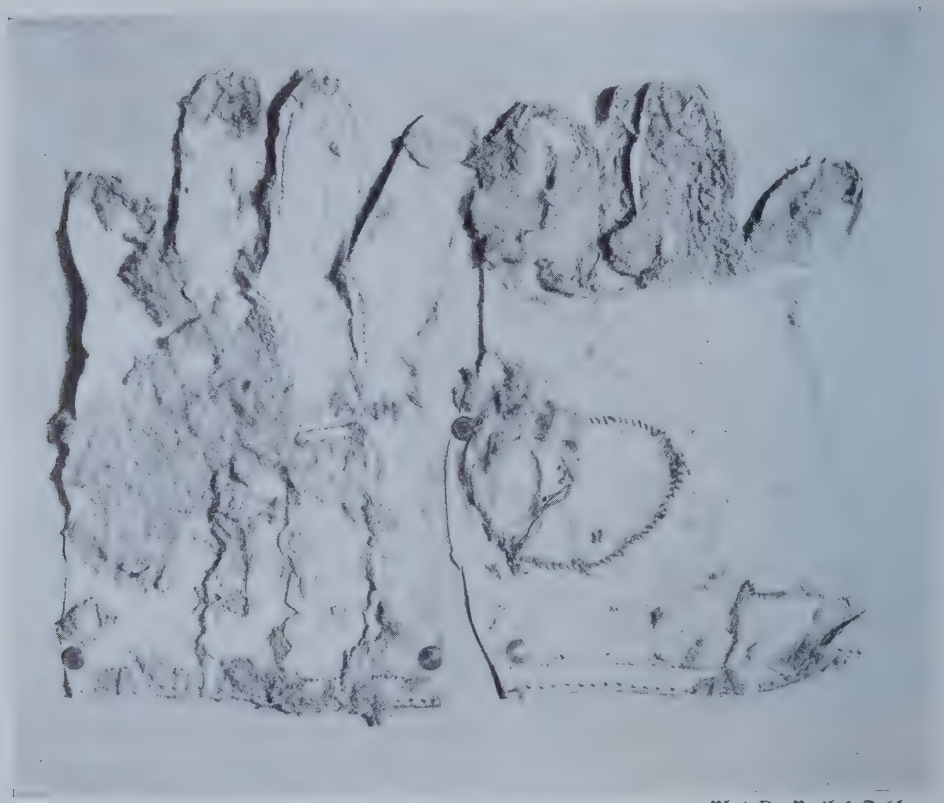
Phot. Dr. Voelkel, Dahlem.

Abb. 265. Fraß der Pelzmottenraupen an Federn.

diesen geht hervor, daß die Marschleistung der Wanderratte in der Woche 50—190 englische Meilen beträgt. Der Schaden dieser Nager wird in England auf über eine Milliarde Mark, in Dänemark auf etwa 10 Millionen Kronen geschätzt. Neben diesen direkten Schäden sind aber auch die mittelbaren Schäden keineswegs zu vernachlässigen. Es sei nur an die Verbreitung verschiedener Krankheiten durch Ratten und Mäuse erinnert.

In letzter Zeit hat ein kleiner an sich hübscher Käfer viel von sich reden gemacht, der Messingkäfer Niptus hololeucus. Der gelbe glänzende Körper hat ihm diesen Namen eingetragen. Dieser Schädling muß sich in den letzten Jahren besonders stark vermehrt und in Deutschland ausgebreitet haben. Aus allen Teilen Deutschlands treffen in der letzten Zeit Meldungen über sein schädliches Auftreten ein. Vor den Käfern und seinen Larven ist nichts sicher. Ihre Spuren sind festgestellt worden an Stoffen aller Art, Seide, Fellen, Leder, Büchern, pharmazeutischen Erzeugnissen, Lebensmitteln wie Mehl, Haferflocken, Grieß, Tee, Kakao, Zucker, Reis, Brot, Wurstwaren, Käse und vielem anderen.

Durch die Presse ist das Massenauftreten dieses Käfers im Pfarrhause zu Genthin der Allgemeinheit bekannt geworden. Es ist aber falsch, ausschließlich dem Messingkäfer die Zerstörung des Pfarrhauses, so daß dieses abgerissen werden mußte, zuzuschreiben. In diesem Falle spielten noch andere Umstände mit, wie man sich das wohl denken kann, wenn man erfährt, daß das Pfarrhaus ein alter Fachwerkbau von 200 Jahren Alter war, in dessen Gebälk sich verschiedene Arten von



Phot. Dr. Voelkel, Dahlem.

Abb. 266. Durch Pelzmottenraupen zerstörte Pelzhandschuhe (aufgeschnitten).

Holzbohrern befanden. Damit soll nicht bestritten werden, daß der Messingkäfer nicht zu einem der schlimmsten und unangenehmsten Feinde unserer Wirtschaft gerechnet werden muß.

Ein weiteres Tier, das sich in der letzten Zeit immer unangenehmer in den Häusern und Wohnungen bemerkbar macht, ist die Ameise. Ihr Auftreten in Gartenanlagen hat schon oft eine Bekämpfung herausgefordert, zumal sie durch ihren Nestbau den Boden unterwühlt und hierdurch den Pflanzenwuchs stört. Durch ihre Wühltätigkeit können die Ameisen bei Massenauftreten ganze Mauern zum Einsturz bringen. Der Schaden in den Wohnungen ist für den Menschen ein mehr indirekter, indem sie bei ihrer Vorliebe für alle Süßigkeiten diese aufsuchen und verschmutzen. Besonders unangenehm hat sich in letzter Zeit die kleine Pharao-Ameise Monomorium pharaonis bemerkbar gemacht, die aus dem Auslande eingeschleppt, sich bei uns in verschiedenen Großstädten (Berlin, Hamburg, Frankfurt a. Main) eingenistet hat. Vor allem lästig ist ihr Auftreten in manchen großen Krankenhäusern, in denen durch diese Tiere die Gefahr einer Verschleppung von Krankheitskeimen aus einer Abteilung in die andere besteht. Der Kampf gegen die Ameisen ist eine der schwierigsten Aufgaben der Schädlingsbekämpfung. Ameisen, welche die nachteiligen Wirkungen eines Ködermittels erfahren haben, sind nicht

dazu zu bringen, von diesem Köder wieder etwas anzunehmen. Die Bekämpfung der Ameisen kann als Kampf der Intelligenz des Menschen gegen die Intelligenz der Ameisen bezeichnet werden.

V. Medizinische Zoologie.

Mit dem Beispiel der Ameisen haben wir bereits im letzten Kapitel einen weiteren Zweig der angewandten Zoologie gestreift, den der medizinischen Entomologie, welchem wir uns jetzt zuwenden wollen.

Die medizinische Entomologie hat die Bekämpfung der dem Menschen und Warmblütern gesundheitsschädlichen Insekten zum Ziel. Sie ist einer der ältesten Zweige der angewandten Zoologie, der sich selbständig entwickelt hat und zum größten Teil nicht von Zoologen, sondern von Medizinern betrieben wurde und noch wird. Es ist das Grenzgebiet zwischen Medizin und Zoologie. In den letzten Jahren, namentlich im Kriege, ist viel auf dem Gebiete der medizinischen Entomologie geleistet worden. So gelang es z. B. während der Kriegsjahre, die Läuseplage im besetzten Feindesland einzudämmen und hierdurch die Verbreitung und Verschleppung des so viele Opfer fordernden Fleckfiebers zu verhüten.

Hier, wo die zoologische und medizinische Wissenschaft gemeinsame Interessen verbinden, ist es wiederum der Stamm der Gliedertiere, die unsere hauptsächliche Aufmerksamkeit beansprucht. Mit dem Menschen und den Warmblütern leben nur Vertreter zweier Stämme der vielzelligen Wirbellosen in einer, dem Menschen Nachteil bringenden Vergesellschaftung. Es sind dies die Stämme der Würmer und der Gliedertiere, welche in dieser artfremden Vergesellschaftung mit den Warmblütern gefunden werden. Unter den Gliedertieren sind es fast ausschließlich die Insekten und in wenigen Fällen Milben, die die größte Anzahl der Plagegeister (Parasiten in weitem Sinne) des Menschen und der Warmblüter stellen.

In der medizinischen Zoologie werden nicht nur die Insekten, welche unmittelbare Gesundheitsschädigungen hervorrufen, behandelt, sondern auch diejenigen, welche mittelbaren Schaden verursachen. Daß Insektenstiche gelegentlich zu Vereiterungen und Blutvergiftungen führen können, ist eine alte bekannte Tatsache. Seitdem festgestellt wurde, daß die Eitererreger Bakterien sind, kam man auch zu der Erkenntnis, daß die Insekten gelegentlich diesen Bakterien den Eintritt in den menschlichen und tierischen Körper ermöglichen.

Die Kenntnis der Rolle der Insekten als Zwischenwirte für schmarotzende Würmer stammt erst aus der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. 1889 wurde festgestellt, daß das Texasfieber, welches unter den Rindern Amerikas große Verheerungen anrichtete, durch Zecken übertragen wurde. 1897 gelang Roß die Feststellung der Übertragung der Malaria durch die Stechmücken. Die Bekämpfung der Malaria ist nicht nur ein hygienisch wichtiges Problem, sondern von kulturell wirtschaftlicher Bedeutung. Jährlich sterben in den Gegenden, in denen diese Krankheit endemisch auftritt, Tausende von Menschen, so daß ganze Gebiete durch die Malaria verwüstet worden sind. Infolge des Verlustes an Tagewerken durch die Malaria können nach Untersuchungen von Howard in den Vereinigten Staaten

Phot. Prof. Hase, Dahlem.

Abb. 267. Lederschlaufe eines Hosenträgers mit Eiern (Nissen) der Kleiderläuse.

15% weniger Boden kultiviert werden. Auf den angebauten Flächen muß manche notwendige Arbeit unterbleiben, wodurch der Ertrag erheblich herabgesetzt wird. Der Kampf gegen die Malaria ist also für Gesundheit und Wohlstand der Menschen von allergrößter Bedeutung und für eine ganze Anzahl Tropenländer die Hauptaufgabe der Kultur überhaupt.

Ein weiterer Feind des Menschen in warmen Gegenden ist der Sandfloh. Dieser ist erst 1873 von Brasilien nach Westafrika eingeschleppt worden. Seine Nachkommen haben in unvergleichlichem Siegeslauf die ganzen Tropen erobert. Das Weibchen dieser Flöhe dringt tief in die Oberhaut ein und schwillt hier bis zur Größe einer kleinen Erbse an. Befallen werden in der Hauptsache die weichen Stellen der Haut zwischen den Zehen und unter den Nägeln. Der unerträgliche Juckreiz verleitet den Patienten zum Kratzen. Es entsteht hierdurch eine Entzündung, die eine Blutvergiftung zur Folge haben kann. Auf diese Weise kommen zahlreiche Todesfälle vor, deren Ursache dem Sandfloh zugeschrieben werden muß.

Die Kleiderläuse, die Überträger des todbringenden Fleckfiebers waren während des Krieges der Schrecken der Bevölkerung in Deutschland. Die Einschleppung dieser Tiere aus dem Osten kam mehr oder weniger einer Ausbreitung des Fleckfiebers gleich. Die Gefahren, welche der Bevölkerung durch eine solche Einschleppung durch Urlauber vom Kriegsschauplatz, Verwundete, die in die Heimatlazarette kamen, und durch Kriegsgefangene drohten, wurden von der Regierung erkannt. Keinerlei Ausgaben wurden gescheut, um dieser Gefahr vorzubeugen. Die Grenzen wurden durch Entlausungsanstalten ab-

Phot. Prof. Hase, Dahlem.

Abb. 268. Haare mit Nissen der Kleiderlaus.

gesperrt, durch die jeder, welcher deutschen Boden von den Kriegsschauplätzen kommend, betreten wollte, hindurch mußte. Durch diese Maßnahmen gelang es die gefürchteten Läuse und damit die gefährliche Krankheit von der Bevölkerung fernzuhalten. Die Unkosten für die Bekämpfung der Läuse haben sich bezahlt gemacht.

Unter den Milben haben wir verschiedene Vertreter, die Krankheiten verursachen oder übertragen können. Bekannt sind die Bäckerkrätze, welche durch eine in feuchtem Mehl lebende Milbe verursacht wird; die Geflügelkrätze, deren Erreger eine Milbe ist, welche im Gefieder lebt; juckende Hautausschläge bei Baumwollarbeitern sind gleichfalls eine Folge von Milben. Neuerdings glaubt man auch, in einer Milbe den Erreger des Asthmas festgestellt zu haben.

Einer der größten Feinde unserer Gesundheit sind die Fliegen. Leider wird diese Tatsache nicht genügend bedacht. Die Fliegen sind ganz gefährliche Schmarotzer. Sie lassen sich auf jeden Schmutz und alle übelriechende Dinge nieder und laufen darauf herum. Dabei bleiben an ihren Beinen, dem behaarten Körper und dem Rüssel Schmutzteilchen, aber auch Bakterien hängen. Die Bakterien werden von ihnen in unseren Wohnungen überall herumgeschleppt und abgestreift. Auf Speisen in der Küche und Speisekammer, auf der Wäsche, auf Tisch und Bett unternehmen die Fliegen ihre Streifzüge und breiten die Bakterien aus. Gelangen solche Bakterien in den Menschen, so können Krankheiten mit den schwerwiegendsten Folgen entstehen. Die Stiche der Fliegen sind an sich ungefährlich, doch können die mit dem Stich übertragenen Krankheitskeime das Leben der Menschen gefährden.

An der Bekämpfung der Fliegen, die als Verbreiter u. a. von Eitererregern, Wundkrankheiten, Typhus, Ruhr, Cholera, Tuberkulose, Milzbrand und Pest in Frage kommen, müßte die Allgemeinheit und jeder Einzelne viel mehr Anteil nehmen. Gerade die ersten im Frühjahr auftretenden Fliegen müssen vernichtet werden, ehe sie zur Vermehrung schreiten. Eine weibliche Fliege kann in der Zeit vom April bis Dezember etwa 5600000 Millionen Nachkommen haben. Einer der Hauptaufgaben bei der Bekämpfung der Fliegen ist die schnelle und restlose Beseitigung der Fäkalien aus der Nähe der menschlichen Wohnungen, eine Teilaufgabe der Abwasserbeseitigung, auf die wir gleich noch zu sprechen kommen.

Eine der verderbenbringendsten Fliegen der wärmeren Gegenden ist die Tsetsefliege, die Überträgerin der Schlafkrankheit. Millionen werden in Afrika, besonders in Uganda und Rhodesien jährlich ausgegeben, um diese Seuche zu bekämpfen. Alljährlich fallen der Schlafkrankheit etwa 50000 Schwarze zum Opfer. Allein in Uganda sind in den Jahren 1898—1906 200000 Menschen durch die Schlafkrankheit hingerafft worden. Die Tsetsefliege befällt hauptsächlich die Schwarzen, aber auch Esel, Hunde, Pferde und Rinder. Sie ist die Hauptursache des Mangels an Reittieren in Zentralafrika. Die Weißen werden von den fast 1 cm langen Tsetsefliegen instinktiv verschont, da sich die Fliegen von den weißen Tropenanzügen gut abheben, und daher eher bemerkt und getötet werden.

Es kommen zwei Gattungen der Tsetsefliege in Betracht. Die Fliegen der einen Gattung halten sich gern in der Nähe von Wasser auf und entfernen sich nicht sehr weit davon. Dieses hat man ausgenutzt, die Räumung der Ufer zwangsmäßig durchgeführt und die Schwarzen weiter im Inneren des Landes angesiedelt. Als

Abb. 269. Die Schädlichkeit der Fliegen.
(Nach einem Merkblatt von P. C. Schlüter, Halle a. S.)

Folge dieser Maßnahme starben diese Insekten aus, so daß die Bevölkerung nach etwa 15 Jahren ihre alten Wohnstätten wieder einnehmen konnte. Die andere Gattung bevorzugt Sträucher als Aufenthaltsort und wurde durch Verbrennen des abgeschnittenen Busches vernichtet. In Rhodesien wurde die Beobachtung gemacht, daß die Tsetsefliegen dem Vieh in einer bestimmten Entfernung folgten und beim Fehlen von Vieh ausstarben. Darauf wurde die radikale Vernichtung des Viehes angeordnet und tatsächlich verschwand auch die Schlafkrankheit. Leider ist bis heute weder die Krankheit selbst noch ihre Überträger aus jenen Gegenden verschwunden. Viele Ärzte sind um eine Heilung der Schlafkrankheit bemüht, und man hofft, mit dem in Deutschland entdeckten und hergestellten Mittel „Bayer 205" diese entsetzliche Krankheit bekämpfen zu können.

Der Erreger der Malaria, der anderen verbreiteten und gefährlichen Tropenkrankheit, ist das Plasmodium vivax malariae, das in den roten Blutkörperchen der Warmblüter lebt. Die roten Blutkörperchen zerfallen bei der Teilung (Vermehrung des Parasiten), und die jungen Plasmodien suchen neue Blutkörperchen auf. Ein Teil der jungen Keime schreitet nicht zu einer weiteren Teilung, sondern es bilden sich aus ihnen die männlichen oder weiblichen Vorkeime.

Alle drei Malariaarten des Menschen werden nur durch die Gattung der Gabelmücken (Anopheles) übertragen. Sticht eine solche Gabelmücke einen Menschen, in dessen Blut Malariaplasmodien und speziell deren Vorkeime vorhanden sind, so werden durch die Mücken beim Stich diese Parasiten mit dem Blute des Menschen aufgenommen. Im Magen der Mücke befruchten die aus den männlichen Vorkeimen entstehenden männlichen Keimzellen die aus den weiblichen Vorkeimen entstandenen weiblichen Zellen. Als Wanderei (Ookinet) durchdringt diese be-

fruchtete Zelle die Magenwand der Mücke und kapselt sich an der Außenseite des Mückenmagens ein. Hier entstehen dann die sogenannten Sichelkeime, die durch Platzen der Kapsel (Zysten) freiwerden, und gelangen mit dem Blut der Mücke in deren Speicheldrüsen, in welche sie sich einbohren. Von hier aus werden die Sichelkeime bei einem Stich der Mücke einem Warmblüter wieder eingespritzt.

Auf diesem Entwicklungsgang der Malariaparasiten wurde näher eingegangen, um zu veranschaulichen, daß die Bekämpfung hier zweierlei Aufgaben zu erfüllen hat. Einmal müssen die erkrankten Personen behandelt werden und muß versucht werden, die Vermehrung der Keime und speziell die Bildung der männlichen und weiblichen Vorkeime im Blute des Menschen zu unterbinden (= die Aufgabe der Humanmedizin). Andererseits muß die Verbreitung der Gabelmücke verhindert und diese ausgerottet werden (= Aufgaben der angewandten Zoologie und speziell der medizinischen Entomologie).

In früheren Zeiten war die Malaria über ganz Deutschland, England und Frankreich verbreitet, ist dann aber weit nach Süden zurückgewichen. Zur Erklärung dieser Tatsache müssen neben kulturellen auch klimatische Veränderungen herangezogen werden. Nach dem letzten Kriege sind wieder häufiger Malariafälle in Deutschland aufgetreten. Bei Personen, die ihre Infektion auf einem der südlichen Kriegsschauplätze erhalten haben, ist eine Erklärung für ihre Erkrankung leicht zu finden. Aber auch bei Personen, die nie Gegenden, in welchen Malaria herrscht, besucht haben, ja, die nie ihre engste Heimat verlassen haben, sind Malariafälle beobachtet worden. Hier liegt die Möglichkeit vor, daß diese Erkrankung durch Infektion im eigenen Lande erworben worden ist, und zwar sind die Plasmodien durch Stiche der auch bei uns vorkommenden Gabelmücken von Trägern der Malariakeime übertragen worden. Die allgemeine Kenntnis der Anophelesarten und deren Unterscheidung von anderen Mückenarten, welche als Überträger des Wechselfiebers nicht in Frage kommen, ist eigentlich eine Selbstverständlichkeit eines jeden Menschen.

Die Bekämpfung der Anopheliden und ihrer Brut ist eine sehr schwierige Aufgabe, die je nach der Gabelmückenart und der Gegend ihres Vorkommens verschieden ist. Seit Jahren wird ein erbitterter Kampf gegen die Malaria und den Verbreitern dieser Seuche geführt. Es sind wohl Erfolge erreicht, doch leider hat man die Seuche noch nicht vollständig ausrotten können. An vielen Orten ist es gelungen, die Malaria ganz zum Verschwinden zu bringen, und wo früher wegen dieser Seuche weite unbewohnbare öde Stellen waren, sind jetzt üppige, reichen Gewinn einbringende Landstrecken.

Bei der Bekämpfung der Mückenbruten kommt es darauf an, alle Wasseransammlungen, vor allem stehende Wasser wie Tümpel, Teiche usw. zu beseitigen. In schneller fließenden Gewässern halten sich die Gabelmücken nicht auf. Sie bevorzugen reines Wasser mit vielen Wasserpflanzen. Da die Strömung des Wassers durch Wasserpflanzen stark behindert wird, so ist ein Entkrauten der Gewässer eine der Maßnahmen, die bei der Bekämpfung zu treffen ist. Eine große Gefahr der Verbreitung und Vermehrung der Mücken sind die Rieselungen in der Landwirtschaft.

VI. Wasserwirtschaftliche Zoologie.

Die Wasserhygiene und speziell die Beseitigung der Abwässer in Städten bildet, wie im vorstehenden Abschnitt gezeigt wurde, ein einschneidendes Problem der angewandten Zoologie. Neben der chemischen Untersuchung der Gewässer spielt die biologische eine große Rolle in der Wasserhygiene. Geben uns doch die Befunde der biologischen Untersuchungen Aufschluß über die Frage, ob die festgestellte Zusammensetzung des Wassers bereits seit längerer Zeit besteht, oder ob der chemische Befund nur ein zufälliger und vorübergehender ist. Je nach der Zusammensetzung des Wassers ist die Fauna und Flora der Gewässer eine andere. Einzelne Gliedertiere oder Fische leben nur in einem sauerstoffreichen Wasser, andere hingegen bevorzugen verunreinigte Gewässer. Auch die Wasserbewegung ist, wie wir an dem Beispiel der Gabelmücke gesehen haben, von beträchtlichem Einfluß auf das Vorkommen verschiedener Lebewesen.

Zur Reinigung der Abwässer werden auch biologische Vorgänge herangezogen. Abwässer, die durch sog. „intermittierende Bodenfiltration" und durch „Rieselfelder" gereinigt worden sind, weisen noch einen kolossalen Bestand an Abwasserpilzen auf, die sich als rasenförmiger Besatz niederschlagen und zu Verunreinigungen Anlaß geben können. Zur Beseitigung dieser Pilze werden die gerieselten Abwässer in künstlich angelegte Fischteiche eingeleitet. Infolge der geringen Wasserbewegung in solchen für Karpfen- und Schleienzuchten besonders geeigneten Fischteichen wird ein stärkeres Auftreten der Abwasserpilze bei dem weiteren Abbau der organischen Substanzen unmöglich gemacht, während andererseits die natürliche Nahrung der Fische stark vermehrt wird. Bei dem sog. „biologischen Verfahren" der Abwasserreinigung durch Füllkörper oder Tropfkörper finden sich neben Bakterien aller Art enorme Mengen der Larven der Schmetterlingsmücke Psychoda sowie zahlreiche Ziliaten- und Flagellatenarten. Zur Reinigung der von 1500 Personen produzierten Abwässer genügen nach einem besonderen Verfahren 400 Karpfen und 145 Schleien.

Der wirtschaftliche Wert der Abwässer setzt sich aus drei Hauptfaktoren zusammen:

1. Der Gehalt an Dungstoffen, der einen Dungwert von etwa 100 Millionen Mark im Jahre beträgt. Der Gehalt an Pflanzennährstoffen beträgt pro Kubikmeter Abwasser etwa 80—100 g Stickstoff, 60—75 g Kali und 20—25 g Phosphorsäure.

2. Der Klärschlamm enthält etwa 60% organische, d. h. brennbare Bestandteile, die mit anderen brennbaren Substanzen wie Kohle, Torf, Hausmull u. dgl. vermischt, einen großen Heiz- und Vergasungswert ergeben.

3. Der Fettgehalt des Klärschlammes betrug vor dem Kriege in Deutschland 10 g Fett pro Tag auf den Kopf der Bevölkerung, das entsprach einem Wert von etwa 60 Millionen Mark jährlich.

Die Kosten, die jährlich durch die Beseitigung der Abwässer und Fäkalien entstehen, sind keineswegs gering. In Kiel wurden z. B. Anfang der neunziger Jahre des vorigen Jahrhunderts allein für Baggerungsarbeiten etwa 30000 Mark jährlich verausgabt. Der Einwohnerschaft dieser Stadt kostete die Abfuhr der Fäkalien jährlich etwa 120000 Mark.

Das wichtigste Gebiet der wasserwirtschaftlichen Zoologie ist zweifellos das Fischereiwesen, dem eine wichtige ernährungswirtschaftliche Bedeutung zukommt. Hier finden wir ein Gebiet, das wohl von allen Zweigen der angewandten Zoologie wissenschaftlich am besten bearbeitet ist (Gewinnung, Zucht und Nutzung der Fische).

Die Aufgaben der Binnenfischerei liegen vor allen Dingen in der Erforschung der Biologie der einzelnen Nutzfische, der parasitären Fischkrankheiten und der Domestikationskrankheiten. Einzelne Krankheiten z. B., Rotseuche der Barbe, Furunkulose, stehen zur Wasserverunreinigung in Beziehung. Ein enger Zusammenhang besteht zwischen der Fischereibiologie und der Frage der Abwasserbeseitigung und Beurteilung der Wasserbeschaffenheit. Weitere Aufgaben der Binnenfischerei sind: die Nutzanwendung der Altersbestimmung durch Ermittelung der Jahresringe von Schuppen und Knochen, die künstliche Verdrängung minderwertiger Fischarten durch hochwertige, die Anwendung der Teichdüngung, die Ermittelung der nichtparasitären tierischen und pflanzlichen Schädlinge der Fischerei, die praktische Anwendung der Vererbungslehre zur Erzielung schnellwüchsiger Fischrassen. Eine nicht unwesentliche Rolle spielt in der Binnenfischerei die Krebszucht und die Bekämpfung der Krebspest, jener verheerenden Seuche, die sich gegen Ende des vorigen Jahrhunderts von Frankreich kommend über ganz Deutschland ausbreitete und die bis dahin krebsreichen Gewässer vollständig entvölkerte. Der durch die Krebspest verursachte Schaden wurde im Jahre 1916 auf etwa 30 Millionen Mark geschätzt. Der schmackhafteste Vertreter der Flußkrebse, der echte Edelkrebs, ist fast vollständig verschwunden und durch den weniger anfälligen langscherigen galizischen und den Steinkrebs ersetzt worden.

Das über die Binnenfischerei nur kurz Erwähnte trifft entsprechend auch auf die Meeresfischerei zu. Eine größere Rolle spielte hier während der nahrungsmittelarmen Kriegsjahre die Zucht der Miesmuschel und ihre Nutzbarmachung für die menschliche Ernährung. Die Zucht, der Fang und die Nutzung der Austern und des Hummers und anderer Meerestiere sind gleichfalls Zweige der Fischereizoologie.

Die Kenntnis der Bohrmuscheln (Lithodomus-, Xylophaga- und Pholasarten), welche Erddämme, Stein- und Holzwerke zerstören sowie des Schiffsbohrwurmes Theredo navalis ist ein für die Bekämpfung dieser Schädlinge wichtiges Problem der Fischereizoologie, welches seiner Lösung noch harrt.

VII. Bekämpfungsmaßnahmen.

In den vorstehenden Ausführungen konnte in aller Kürze angedeutet werden, wievielerlei Schädlinge uns und unsere Kulturerzeugnisse von allen Seiten her bedrohen. Eingangs wurde bereits erwähnt, daß einer der Hauptziele der angewandten Zoologie und speziell der angewandten Entomologie in der Schädlingsbekämpfung zu suchen ist. Die Schädlingsbekämpfung hat neben der rein wissenschaftlichen Bedeutung, indem sie die vielen im vorhergehenden an Beispielen dargelegten Probleme einer Lösung näher zu bringen sucht, rein wirtschaftliche Interessen vor Augen. Die Maßnahmen, die zwecks Eindämmung, Ausrottung oder zum Schutz der Kulturpflanzen und Nützlinge in Anwendung gebracht werden können,

sind bei der Besprechung der Schadformen zum Teil schon erwähnt worden. Diese Bekämpfungsmaßnahmen sollen zur besseren Übersicht noch kurz zusammenhängend im folgenden dargelegt werden.

Im allgemeinen wird angenommen, daß die vom Staate unterstützte, geförderte bzw. angeordnete Bekämpfung von Schädlingen eine Kulturerrungenschaft neueren Datums sei. Bereits im 8. und 7. Jahrhundert v. Chr. hat in China der Kaiser Jao-tsun einen Befehl zur Bekämpfung der Heuschrecken erteilt und empfohlen, zur Abschreckung dieser Tiere Erbsen anzupflanzen. Aus dem Jahre 1075 v. Chr. stammt ein Erlaß des Kaisers Schen-tsun[1]), wonach 1. alle Landbesitzer verpflichtet waren, bei Strafe von „100 Stockhieben mit Bambusrohr" Maßnahmen zur Bekämpfung der Heuschrecken zu ergreifen. Sollten auf eine Meldung über das Erscheinen dieser Insekten vom Ortsältesten keine Bekämpfungsmaßnahmen angeordnet werden, so sollten diese Ortsältesten beim Erscheinen der Heuschrecken mit 120 Stockhieben bestraft werden. 2. Der Ortsälteste mußte beim Erscheinen der Tiere arme Leute einstellen, welche die Eigelege zu sammeln hätten. Falls nicht alle Eigelege aufgesammelt wurden und im nächsten Jahre Heuschrecken auftraten, so erhielt der Ortsälteste 100 Stockhiebe. 3. Überall, wo die zugeflogenen Heuschrecken ihre Eier abgelegt und diese Eier nicht restlos vernichtet wurden, erhält jeder Landbesitzer und der Ortsälteste 100 Stockhiebe. — So lauten einige dieser Sätze aus dem Erlaß, die uns zeigen, mit welchen energischen Maßnahmen die Bekämpfung der Heuschrecken durchgeführt wurde. Die Bekämpfungsvorschriften, die gleichzeitig erlassen wurden, zeugen davon, daß bereits gute Beobachtungen über die Biologie der Heuschrecken vorlagen. Sie lauten etwa:

„1. Bei Sonnenaufgang halten sich die Heuschrecken auf den Enden der Getreidehalme oder Grashalme auf, um den Tau zu trinken. Um diese Zeit sind sie träge und unfähig zu fliegen und zu springen. Man treibt sie dann von allen Seiten in Körbe, schüttet sie in Säcke zusammen und muß sie dann verbrennen oder mit kochendem Wasser verbrühen. Das Eingraben der Heuschrecken nützt nichts, da sie auch durch größere Erdschichten an die Oberfläche gelangen.

2. Die Heuschrecken sind sehr widerstandsfähig. Wenn man sie mit Stöcken schlägt, so erreicht man dadurch nicht, daß sie abgetötet werden, sondern man verletzt dazu auch noch das Getreide. Am besten zum Schlagen der Heuschrecken sind alte lederne oder aus Gras geflochtene Pantoffeln.

3. Befinden sich die Heuschrecken auf freien Stellen, so grabe man Gruben in ihren Weg und treibe sie hinein. Je weiter der Graben um so besser. Nach dem Eintreiben wird trockenes Gras in die Gruben geworfen und angebrannt.

4. Die höchsten Beamten müssen bei der Bekämpfung zugegen sein. Ihre Untergebenen dürfen hierbei nicht «wie Seidenraupen die Ortsältesten kahl fressen»; die Ortsältesten würden ihrerseits dasselbe an den Einwohnern tun. Dann würde das Volk, ohne den Schaden durch die Heuschrecken gemerkt zu haben, einen ungeheuren Verlust durch die Bekämpfung der Schädlinge verspüren.

5. Bei Annäherung der Heuschrecken sind überall in den Ortschaften aufklärende Schriften und Bekämpfungsvorschriften zu verbreiten und bekannt zu geben, daß

[1]) Meines Wissens erstmalig hier in deutscher Sprache wiedergegeben, übertragen aus dem Russischen nach Nikoljski: Locusta migratoria L., Leningrad 1925.

für je 10 Shen (= 4,1 Liter) Heuschrecken jedem Überbringer ein Shen Korn abgeliefert werden.

6. Die Zahlung mit Korn muß gewissenhaft durchgeführt werden. Sollten Unregelmäßigkeiten vorkommen, so würden die Bauern auf die Bekämpfung verzichten."

In weiteren Paragraphen werden Anweisungen für das Anlegen von Gruben unter Angabe genauer Maße usw. angegeben.

Der chinesische Minister Jao-tschung (714 v. Chr.) sprach bereits die weisen Worte aus: „Indem man die Insekten totschlägt, rettet man die Menschen."

Aber auch im alten Griechenland war nach Plinius der Kampf gegen die Heuschrecken organisiert, so bestand auf der Insel Cyrenaica das Gesetz, nach dem jeder Bewohner verpflichtet war, Eier, Larven und Imago der Wanderheuschrecken zu vernichten. Auf der Insel Lemnos war jeder Bürger verpflichtet, jährlich eine bestimmte Anzahl von Heuschrecken abzuliefern.

Abb. 270. Wald ohne Vogelschutz. Die Bäume sind von den Raupen des Buchenspinners befressen (n. Berlepsch).

Doch wenden wir uns nach Abschweifung in längst vergangene Zeiten den Maßnahmen, die zur Bekämpfung von Schädlingen in neuerer Zeit ergriffen werden, zu.

Die Maßnahmen, welche zur Bekämpfung von Schädlingen aller Art ergriffen werden, können eingeteilt werden in: 1. Kulturmaßnahmen, 2. technische Bekämpfung mit physikalischen Mitteln, 3. technische Bekämpfung mit chemischen Mitteln und 4. biologische Bekämpfung.

Die Kulturmaßnahmen bezwecken, die Pflanzen, welche unter den Schädlingen zu leiden haben, zu kräftigen und gesund zu erhalten. Dieses kann erreicht werden, durch geeignete Behandlung des Bodens, durch Auslese und durch Züchtung von widerstandsfähigen Sorten. Die Nonnen- und Forleulenkalamität konnte nur auftreten, weil in den befallenen Gebieten dichtstehende reine Nadelholzbestände vorhanden waren. In solchen Beständen wird nicht nur dem Schädling eine zusagende Nahrung geboten, sondern auch durch Störung des Gleichgewichtszustandes in der Natur der Vogelschutz unterbunden. Durch die zu einseitige Ausnutzung des Bodens erzielt man dürre, magere Waldbestände. Alles dieses begünstigt den Befall durch Schädlinge und deren Massenvermehrung. Zur Vermeidung derartiger Schäden ist der Anbau von Mischwald und Vogelschutz das beste Mittel.

Wiederholt ist die Erfahrung gemacht worden, daß einzelne Pflanzen von Schädlingen gemieden, während andere Exemplare der gleichen Pflanze befallen werden. Diese Tatsache führte zu der Feststellung der Immunität einzelner Pflanzen

Abb. 271. Wald mit Vogelschutz. Die Bäume sind kaum befressen (n. Berlepsch).

gegen bestimmte Schädlinge; die Individual- oder Sortenzüchtung im Pflanzenschutz war die Folge dieser Beobachtung. Jedoch braucht die Pflanze nicht in jedem Falle immun zu sein, es genügt oft schon, wenn sie gewisse Eigenschaften aufweist, durch welche der Befall und der Schaden durch Schädlinge vermindert oder mindestens stark herabgesetzt wird. Hierzu gehören u. a. die für den Schädling ungünstigen Blütezeiten, wie es z. B. gegen den Befall durch den Apfelblütenstecher und gegen den Erbsenwickler durch Heranzüchtung von frühblühenden Apfel- bzw. Erbsensorten erreicht wird.

Bestimmte amerikanische Rebsorten erweisen sich immun gegen den Befall ihrer Wurzeln durch die Reblaus, die bei uns den Weinbau in großen Gebieten völlig vernichtet hat. Man könnte also durch Anbau von amerikanischen Reben diesem Schaden entgehen. Die Trauben dieser Amerikanerreben sind jedoch von unangenehmem Geschmack, unansehnlich und nicht zu vergleichen mit unseren Edeltrauben. Es ist noch nicht gelungen, aus Kreuzungen der Amerikanerrebe mit deutschen Edelsorten befriedigende Bastardreben zu züchten. Im deutschen Weinbau ist man zum Pfropfrebenbau übergegangen, d. h., man pfropft auf die reblausimmunen Amerikanerreben deutsche Edelreiser. Durch dieses Verfahren erzielt man einerseits gute Edeltrauben, andererseits schützt man seine Bestände vor dem Befall durch den gefährlichen Schädling. Durch dieses Verfahren ist die Möglichkeit gegeben, stark reblausverseuchte Weinberge vor der Vernichtung zu schützen und völlig zerstörte Weinbaugebiete wieder neu aufzubauen.

Eine weitere Bekämpfungsart ist die technische Bekämpfung, die je nach der Methode in eine mit physikalischen oder chemischen Mitteln eingeteilt wird.

Unter die technischen Maßnahmen mit physikalischen Mitteln fallen die mechanische Bekämpfung und diejenigen mit Hilfe von Wärme, Kälte, Licht und elektrischem Strom. Unter die mechanischen Maßnahmen sind zu rechnen: 1. Alle Vorrichtungen, die darauf abzielen, die Schädlinge mit Hilfe der Hände oder mit besonderen Apparaten zu zerdrücken, z. B. die Bekämpfung der Heuschrecken mit Hilfe von Spaten, Dreschflegeln u. dgl., das Absuchen und Vernichten der Eier und Raupen verschiedener Garten- und Obstbauschädlinge. 2. Die Fernhaltung der Schädlinge von Kulturpflanzen z. B. durch Umzäunungen als Schutz gegen Wild, Nager, durch Ziehen von Gräben gegen verschiedene wandernde Raupenmassen, Rüsselkäfer, Nematoden, Wanderheuschrecken usw., durch Leimringe gegen Kiefernspinner, Frostspanner usw. (vgl. Abb. 100, Bd. II, S. 176), durch Über-

Phot. Biolog. Reichsanst., Dahlem.

Abb. 272. Wurzelgallen, durch Rebläuse hervorgerufen.

Phot. Biolog. Reichsanst., Dahlem.

Abb. 273. Reblausgallen an Weinblättern.

spannen von Gazestoffen gegen Insekten, Vögel und ähnliche Maßnahmen. 3. Die verschiedensten Fangvorrichtungen usw.

Wärme und Kälte werden gegen verschiedene Schädlinge in Anwendung gebracht. So werden Sämereien und Erde in Gewächshäusern und in Anzuchtbeeten durch Erhitzen von Schädlingen befreit, ohne daß die Samen und Pflanzen Schaden leiden, da viele Schädlinge gegen Temperaturen von 45—60° empfindlicher sind als die Pflanzen. Kälte ist bisher im großen nur wenig als Bekämpfungsmittel angewandt worden, weil die Erzeugung der notwendigen tiefen Temperaturen mit größeren Kosten verbunden ist. In kleineren Laboratoriumsversuchen hat die Anwendung der Kälte gute Ergebnisse gezeitigt.

Eine sehr große Zahl von Tieren ist lichtliebend, d. h., sie werden durch Lichtquellen jeder Art angelockt. Diese Eigenschaft der Photophilie wird in der Schädlingsbekämpfung benutzt, um die Tiere mit Hilfe von Fanglaternen und Lichtfallen der verschiedensten Art anzulocken. Der Nutzen dieses Verfahrens ist nicht sehr groß, und es wird daher nicht mehr viel angewendet. Es zeigt sich nämlich, daß in der weitaus größten Zahl der Fälle durch solche Fanglaternen nur die meistens in der Überzahl vorhandenen Männchen angelockt und abgefangen wurden. Unter den gefangenen Weibchen fanden sich fast nur solche, die ihre Eier bereits abgelegt hatten, also keinen wirtschaftlichen Schaden mehr anrichten konnten. Der elektrische Strom ist bisher nur in Versuchen zu Bekämpfungszwecken herangezogen worden. Für die Praxis kommt diese Bekämpfungsmaßnahme nicht in Frage, zumal die Versuchsergebnisse nicht sehr vielversprechend waren.

Phot. Biolog. Reichsanst., Dahlem.

Abb. 274. Winternester des Goldafters.

Eine weit bessere Erfahrung hat man mit der technischen Bekämpfung mit Hilfe chemischer Mittel gemacht. Dies Verfahren ist wohl bei weitem am besten ausgebaut. Die Anwendung der chemischen Mittel ist in den meisten Fällen einfach und — was für den Praktiker mit die Hauptsache ist — der Erfolg fast stets sofort sichtbar. Die chemischen Bekämpfungsmittel werden entweder nach ihrer Wirkungsweise eingeteilt in Haut-, Magen- und Atemgifte oder nach ihrer Anwendungsform in Spritz-, Stäube-, Streu-, Streich-, Tauch-, Gieß-, Vergasungs- und Impfmittel. Die einzelnen Verfahren sollen hier nicht besprochen werden.

Phot. Prof. Hase, Dahlem.

Abb. 275. Raupenleimring mit gefangenen Raupen des Kiefernspinners.

Die meisten chemischen Mittel werden in möglichst innigen Kontakt mit den Schädlingen oder den Pflanzen gebracht und suchen in jedem Falle, den Schädling so zu treffen, daß er keine weiteren Verheerungen anrichten kann oder zugrunde geht. Die Hautgifte versuchen, dieses durch Verätzungen der Körperoberfläche selbst oder der künstlichen Schutzhüllen der Schädlinge zu erreichen. Die Magengifte werden auf die Nährpflanzen gespritzt, gestreut usw. Beim Fressen werden diese Gifte mit den Pflanzenteilen zusammen aufgenommen und führen zu dem Tode des Schädlings. Gegen Nager, Schaber, Asseln usw. werden vergiftete Köder ausgelegt.

Es hat sich mit der Zeit ein besonderer und großer Zweig der Industrie herangebildet, der sich mit der Konstruktion von Apparaten zum Zerstäuben, Zersprühen, Verspritzen usw. von Mitteln zum Zwecke der Schädlingsbekämpfung beschäftigt. Die Apparate werden in jeder Größe angefertigt, von kleinen Spritzapparaten, der dem Besitzer eines kleinen Obstgartens genügt, bis zu den großen fahrbaren Motorspritzen, die in großen Beständen benutzt werden, und welche die Mittel auf Bäume bis zu einer Höhe von 15 m verteilen können.

In neuerer Zeit ist auch das Flugzeug in den Dienst der Schädlingsbekämpfung gestellt worden. Die Verwendung des Flugzeuges zur Bekämpfung von Schadinsekten ist bei uns zunächst noch auf den Forstschutz beschränkt, findet aber im Auslande bereits im landwirtschaftlichen Pflanzenschutz Verwendung. Schon 1912 kam der deutsche Oberförster Zimmermann auf den Gedanken, angeregt durch den damals in preußischen Staatsforsten herrschenden Nonnenfraß, die Waldschädlinge durch Abwerfen von Bekämpfungsmitteln aus einem Luftfahrzeuge zu vernichten. Zimmermann dachte bei dem damaligen Stande der Flugtechnik wohl zunächst an die Verwendung von Luftschiffen. Dieses Verfahren wurde ihm patentiert und sollte auch 1914 mit dem Zeppelin-Luftschiff „Hansa" erprobt werden. Zunächst konnten die Versuche wegen Mangel an Schädlingen nicht durchgeführt werden und kamen später durch den Krieg in Vergessenheit.

Erst 1921 wurden die ersten Versuche zur Verwendung des Flugzeuges in der Schädlingsbekämpfung in Nordamerika gegen die Raupen des Catalpaschwärmers durchgeführt. Das günstige Ergebnis dieser ersten Versuche veranlaßte eine weitere Entwicklung dieses Bekämpfungsverfahrens unter Verwendung verschiedener pulverförmiger Mittel. 1923 wurden die Versuche in Amerika auch auf landwirtschaftliche Schädlinge ausgedehnt. Sie fanden eine große Anwendung bei der Bekämpfung des Baumwollkapselkäfers. 1925 wurden bereits 20000 ha Baumwollfelder gegen die Schädlinge bestäubt. Auch zur Bekämpfung der Mückenlarven und in Mexiko zur Vernichtung von tierischen und pflanzlichen Schädlingen im Gemüsebau wurde das Flugzeug herangezogen. In Rußland

Phot. Biol. Reichsanst., Dahlem.

Abb. 276. Stück eines aufgerollten Fanggürtels aus Wellpappe. Diese Gürtel werden im Herbst angelegt und im Frühjahr verbrannt.

Phot. Dr. Voelkel, Dahlem.

Abb. 277. Ungezieferbekämpfung durch ein streuendes Flugzeug.

und Südafrika wurde durch Verspritzen von Arsenbrühen vom Flugzeuge aus gegen die Heuschrecken vorgegangen. Besonders bemerkenswert war jedoch, daß auch bei der Bekämpfung fliegender Heuschreckenschwärme in der Luft mit dem Flugzeuge gute Erfolge erzielt wurden.

Die Forleulenkalamität in Deutschland 1924 veranlaßte die Wissenschaftler, nach wirksamen Maßnahmen zur Bekämpfung dieser gefährlichen Waldverderber Umschau zu halten. Es wurde vorgeschlagen, das Flugzeug in den Dienst der Bekämpfung zu stellen. Mehrere Firmen der chemischen Industrie setzten sich mit Flugzeugfirmen in Verbindung, und 1925 konnte die erste Bestäubung des Forstes in Deutschland durchgeführt werden. Die Anwendung des Flugzeuges zur Bekämpfung von Waldschädlingen hat seitdem bei uns von Jahr zu Jahr zugenommen. Es sind auf diese Weise bisher die Forleule, die Nonne, der Kieferspanner, der Eichenwickler und die Kiefernbuschhornwespe bekämpft worden.

Die Verwendung des Flugzeuges in der Schädlingsbekämpfung hat, da besondere Anforderungen an solch ein Flugzeug gestellt werden müssen, nicht nur dazu geführt, daß besondere „Streutypen" der Flugzeuge konstruiert wurden, sondern auch dem Flugzeugbau manche Anregung gegeben. Auch die chemische Industrie ist bemüht, ihre Mittel durch Erhöhung der Haftfähigkeit, Schaffung von regenbeständigen Pulvern usw. zu vervollkommnen.

Das Abwerfen der pulverförmigen Mittel vom Flugzeuge aus hat neben einem viel sparsameren Verbrauch der Bekämpfungsmittel noch den Vorteil, daß man in kurzer Zeit eine große Fläche bestäuben kann. Dieser Punkt ist bei der Bekämpfung vielfach von ausschlaggebender Bedeutung, weil oft bestimmte Entwicklungsstadien der Insekten ganz besonders anfällig gegen manche Gifte sind,

diese Stadien aber nur kurze Zeit andauern, während der die Bekämpfung durchgeführt werden muß. Andererseits soll aber auch nicht verschwiegen werden, daß sich der Bekämpfung vom Flugzeuge aus unüberwindliche Schwierigkeiten in den Weg stellen können. So ist z. B. vorläufig eine Bestäubung nur bei Windstille oder nur ganz geringem Winde möglich. Da die Bekämpfung von Forstschädlingen durch Verstäuben pulverförmiger Mittel mit Hilfe von Flugzeugen den Forst-

Phot. Dr. Voelkel, Dahlem.

Abb. 278. Der Motorverstäuber in Tätigkeit.

verwaltungen große Kosten verursacht, ist man in neuester Zeit dazu übergegangen, die Motorverstäuber zu verbessern und im Walde zu verwenden. Mit den neuesten Motorverstäubern können Bäume bis zu 35 m Höhe mit pulverförmigen Bekämpfungsmitteln — es handelt sich in der Hauptsache um Kalziumarsenate — bestäubt werden.

Eine der sichersten Methoden der Schädlingsbekämpfung ist die Anwendung von Vergasungsmitteln, dringen doch einerseits die Gase in die engsten Ritzen, die kleinsten Schlupfwinkel ein und bieten andererseits die natürlichen und künstlichen tierischen Schutzhüllen kaum einen Schutz gegen diese Mittel. Die Vergasungsmittel bestehen entweder aus festen Stoffen, die verbrannt werden, aus Stoffen, welche bei gewöhnlicher Temperatur leicht flüchtig sind oder aus Stoffen, welche durch chemische Umsetzung giftige Gase entwickeln. Die Vergasungsmittel können nicht nur in abgeschlossenen Räumen angewandt werden. Sollen — wie es in Amerika oft geschieht — Bäume, Sträucher oder dgl. mit Hilfe von Blausäure oder anderen Gasen entwest werden, so muß über diese ein Zelt aus gasdichtem Stoff gebaut werden und das Gas unter dem Zelt entwickelt oder unter dasselbe eingeleitet werden. Durch den Friedensvertrag sind uns leider in der Anwendung gut wirk-

samer Vergasungsmittel und im weiteren Ausbau entwicklungsfähiger Mittel Schranken auferlegt worden. Daher sind wir gezwungen, weniger wirksame und oft kostspieligere Verfahren bei Vergasungen anzuwenden.

Wie bereits einleitend bemerkt wurde, besteht in der Natur unter gleichbleibenden Bedingungen ein gewisser Gleichgewichtszustand. Diese Biozönose kann durch Einwanderung oder Einschleppung fremder Tiere und Pflanzen, durch klimatische Einflüsse oder auch durch die Menschen gestört werden. Alle diese Veränderungen der Umweltbedingungen können Ursachen von Gleichgewichtsveränderungen sein, die eine Massenvermehrung von Schädlingen nach sich ziehen. Gleichzeitig aber mit einer Vermehrung der Schädlinge finden auch die natürlichen Feinde dieser

Phot. Dr. Voelkel, Dahlem.

Abb. 279. Motorverstäuber der Gebr. Borchers-A.-G. im Forst zur Bekämpfung des Kiefernspanners.

Tiere günstige Bedingungen vor, vermehren sich auf Kosten der Schädlinge und können auf diese Weise einen neuen Gleichgewichtszustand herbeiführen.

Diese Erscheinung der Selbstregulierung in der Natur suchen sich die Menschen nutzbar zu machen. Die Vermehrung der natürlichen Feinde wird noch künstlich unterstützt, um so der Schädlinge Herr zu werden. Diese Bekämpfung der Schädlinge durch seine natürlichen Feinde wird als „biologische Bekämpfung" bezeichnet.

Die Massenvermehrung der Nützlinge kann nur erfolgen, wenn eine große Zahl ihrer Wirtstiere, also der Schädlinge vorhanden ist, sie ist somit eine sekundäre Erscheinung. Ein dauerndes Übergewicht der Nützlinge ist daher in der Natur unmöglich. Trotzdem hat die biologische Bekämpfung eine große Reihe glänzender Erfolge gezeitigt.

In früheren Abschnitten ist bereits mehrfach auf solche Erfolge hingewiesen worden z. B. bei der Bekämpfung der aus Australien nach Kalifornien eingeschleppten Schildlaus Icerya purchasi durch den Marienkäfer Novius cardinalis oder der Kohlschädlinge durch die kleine Schlupfwespe Trichogramma evanescens usw. Die Maulbeerbaumschildlaus Diaspis pentagona vermehrte sich gegen Ende

des vorigen Jahrhunderts in ganz enormer Weise und bedeckte die Maulbeerbäume zum Teil geradezu mit einer weißgrauen Kruste zum Entsetzen der Seidenraupenzüchter des Mittelmeergebietes. Verschiedene angewandte Mittel (Petroleum, Teeremulsionen usw.) nutzten nicht viel. Erst als man in der Schlupfwespe Prospatella Berlesi, einer Chalcidide, einen erbitterten Feind feststellte, wurde es besser. In China und Japan spielt die Schildlausplage an Maulbeerbäumen keine Rolle, weil hier die eigentliche Heimat der genannten Schlupfwespen ist. Sie wurde durch Berlese in Italien eingeführt, künstlich gezüchtet und ausgesetzt.

Zur Förderung der biologischen Bekämpfung erstrebt man die Schaffung besonderer Zuchtstationen, in denen die natürlichen Feinde der Schädlinge — in der Hauptsache handelt es sich um Schlupfwespen — das ganze Jahr hindurch herangezogen und vermehrt werden, damit diese Nützlinge dann auf Anforderung auch abgegeben und an bestimmten Befallsstellen ausgesetzt werden können.

Die Möglichkeit und der Erfolg einer biologischen Bekämpfung hängt natürlich davon ab, daß überhaupt keine Feinde der eingeschleppten Schädlinge bekannt sind, ferner daß den eingeführten Feinden die neuen klimatischen Bedingungen zusagen und dann, daß diese Nützlinge auch im neuen Lande noch als solche gelten können. Die Nützlinge haben ihrerseits auch Feinde, denen sie zum Opfer fallen. Es fragt sich bei einer Verpflanzung der Nützlinge, ob diese „Feinde" die Bekämpfung der Schädlinge überhaupt zur Auswirkung kommen lassen.

Der Vogelschutz ist ein Teil der biologischen Bekämpfung. Die Forderung nach Mischwald, welche zur Unterdrückung von großen Kalamitäten durch Nonne und Forleule gestellt wird, wird auch vom Vogelschutz gefordert. Ein solcher Mischwald mit dichten Hecken und Gebüschen bietet den Vögeln die besten Nistgelegenheiten. Eine Vermehrung der Vögel beugt einer Massenvermehrung der Schädlinge vor.

Auch die rote Waldameise ist zu den wichtigen Nützlingen unserer Forsten zu rechnen. So konnte festgestellt werden, daß in Gebieten, in welchen so starker Fraß durch Eulenraupen stattgefunden hatte, daß fast die Hälfte der befallenen Bäume eingeschlagen werden mußte, sich inselartige grüne Flächen vorfanden. Bei näherem Zusehen stellte sich heraus, daß in diesen von den Eulenraupen verschonten Gebieten zahlreiche Haufen der roten Waldameise anzutreffen waren. Der Schutz der roten Waldameise ist daher nur jedem Forstmanne zu empfehlen.

Die Voraussetzung einer erfolgreichen Schädlingsbekämpfung ist, daß zur Behebung von Kalamitäten nur wirklich brauchbare Mittel Anwendung finden, und ferner, daß bei der Bekämpfung von Schädlingen, die nicht an einen Ort gebunden sind, sondern leicht überwandern oder überfliegen können (Ratten, Mäuse, Blutlaus, Heuschrecken, Raupen usw.) die Bekämpfung durch Gemeinden oder Bezirke ausgeführt werden. So bestehen Polizeiverordnungen zur Bekämpfung verschiedener Schadtiere z. B. die bekannten Rattentage in Städten, nach denen jeder Besitzer einer Laube, eines Grundstückes usw. verpflichtet ist, an bestimmten Tagen Gifte gegen diese Nager auszulegen.

Abb. 280. Die Organisation des Deutschen Pflanzenschutzdienstes. Wandtafel der Biolog. Reichsanstalt Berlin-Dahlem.

VIII. Organisation des Pflanzenschutzdienstes.

Alle Kulturstaaten haben zum Schutze gegen die Einschleppung von Schädlingen und somit zwecks Erhaltung des Volksvermögens besondere Einfuhrbestimmungen für Pflanzen, Pflanzenteile, Samen und dgl. erlassen. In fast allen Staaten bestehen Einrichtungen, die sich mit der Erforschung von Krankheiten, den Schädlingen und mit der Ausarbeitung von Bekämpfungsmaßnahmen beschäftigen (Pflanzenschutzforschung). Durch aufklärende Schriften, Vorträge, Meldedienst, Mittelprüfung und Auskunftserteilung wird von amtlicher Stelle aus für eine möglichst weite Verbreitung der erworbenen Kenntnisse über die Schädlinge Sorge getragen. In Amerika ist diese Organisation eine besonders große. Das Zentralinstitut für den Pflanzenschutz in Deutschland ist die Biologische Reichsanstalt für Land- und Forstwirtschaft in Berlin-Dahlem mit ihren Zweigstellen in Naumburg, Stade, Kiel, Aschersleben und Bernkastel-Cues und ihren fliegenden Stationen. Die Biologische Reichsanstalt ist gleichzeitig auch die Spitze des Deutschen Pflanzenschutzdienstes. Dieser setzt sich zusammen aus den Landesanstalten für Pflanzenschutz der Einzelstaaten und den diesen gleichzuachtenden Hauptstellen für Pflanzenschutz der preußischen Provinzen. Diesen Stellen sind dann wiederum Bezirksstellen und Vertrauensmänner in allen Landesteilen unterstellt.

Die Organisation des Pflanzenschutzes greift bereits über die Grenzen der Staaten hinaus. So haben sich die bedrohten Staaten zum Austausch von Erfahrungen und zu internationalen Abmachungen zusammengefunden, um einheitliche Richtlinien zur Bekämpfung der Schädlinge von internationaler Bedeutung (Reblaus, Olivenfliege), die in den verschiedenen Ländern ganze Wirtschaftsgebiete bedrohen, aufzustellen. Durch das Internationale Landwirtschaftsamt in Rom soll diese internationale Zusammenarbeit erleichtert und gefördert werden.

IX. Kulturelle Verwendung von Tieren und tierischen Erzeugnissen.

In den vorstehenden Abschnitten haben wir uns in der Hauptsache mit den Tieren beschäftigt, die den Menschen und seinen Erzeugnissen mehr oder weniger feindlich gegenüberstehen. In der Landwirtschaft, im Gemüse-, Obst-, und Weinbau, in der Forstwirtschaft sahen wir die Erzeugnisse des Menschen von Schädlingen bedroht, erfuhren von seinem Kampf gegen diese Tiere, hörten, daß seine eigene Gesundheit und das Leben von winzigen Schmarotzern und Krankheitsüberträgern beeinflußt werden kann. Auch die im Anfang gestreiften Fragen der Haustierzucht, des Fischereiwesens usw. gestatteten nur kleine Lichtblicke. Trotz alledem wird aber durch den Menschen auch ein großer Nutzen und Kulturwert aus Tieren und ihren Erzeugnissen gezogen. Diesen erfreulicheren Dingen wollen wir uns zum Schluß noch kurz zuwenden.

Von Tieren als Nahrungsspender für den Menschen sei abgesehen, nur einiges sei hier kurz gestreift. Die Tiere und tierischen Produkte, die in den verschiedensten Ländern zu Nahrungszwecken gehalten, gesammelt oder gefangen werden, sind mannigfaltig. Dinge, die bei uns nie eine Rolle als Genuß- oder Nahrungsmittel spielten, werden in anderen Gegenden als besondere Leckerbissen gewertet (Schwalbennester, Heuschrecken, Ochsenfrösche usw.). In einzelnen Gegenden finden sich große Züchtereien der Suppenschildkröte, welche dort einen wesentlichen Ausfuhrartikel darstellt und in die ganze Welt verschickt wird. Der Ursprung des bei der Wanderung des Volkes Israel in der Wüste aufgetretenen Manna ist bisher noch nicht völlig geklärt. Eine in der neuesten Zeit zur Erforschung dieser Fragen in das Sinaigebirge gemachte Expedition glaubt, das Manna einem Massenauftreten der Mannaschildlaus Coccus manniparus zuschreiben zu können, deren Stich an den Pflanzen das Austreten von Zuckersaft hervorruft, welches eingetrocknet das Manna ergibt.

Eines der merkwürdigsten Nahrungsmittel sind die Teile des Palolowurmes Palolo viridis (vgl. Abb. 96, Bd. II, S. 162), welche zu bestimmten Zeiten an den Küsten einzelner Gegenden zu Millionen erscheinen. Der pazifische, atlantische und japanische Palolowurm lebt als Räuber in den Korallenbänken und Felsenriffen. Regelmäßig im Oktober und November, und zwar genau 2 Tage vor Vollmond ist das Meer überschwemmt von Bruchstücken dieses Wurmes. Dieses sind die weiblichen und männlichen, mit Eiern bzw. Samenfäden prall gefüllten Hinterleibsenden des Palolowurmes. Diese 2 cm langen Enden lösen sich von dem übrigen Wurmkörper los, steigen zur Wasseroberfläche,

schwärmen hier in dichtem Gewimmel umher und entleeren schließlich ihren Inhalt zur Vereinigung der Keimprodukte ins Meer. Einige Stunden nach Sonnenaufgang ist alles wieder verschwunden. Die Inselbewohner fangen diese Hinterleibsenden in Massen ein, um sie entweder roh oder in frische Blätter gewickelt gebacken zu verzehren. Während der Tage des Palolowurmes herrscht reges Leben an sonst ruhigen Küsten, weil die Bewohner weit aus dem Innern und den Nachbarinseln erscheinen, um diese als Leckerbissen geschätzten Erzeugnisse einzufangen. Händler aus weiter liegenden Gegenden kaufen die Fänge dem glücklichen Palolofischer ab. Nach kurzer Zeit ist das rege Leben an der Küste wieder erloschen.

Einer der wertvollsten Vögel ist der Guanovogel von Peru. In ungeheuren Massen kommt er auf den peruanischen Inseln vor, und wird hier gepflegt. Sein großer Wert besteht in seinen Ausscheidungen, die den Guanodünger liefern. Vor etwa 10 Jahren belief sich der Ertrag der Guanoernte auf etwa 25000 t. Die Bevölkerung jener Insel, deren wirtschaftliche Existenz von diesen Exkrementen abhängt, hat es in den letzten Jahren verstanden, die Lebensbedingungen der Vögel wesentlich zu verbessern. Durch die sorgsame Pflege ist es gelungen, den Ertrag gewaltig zu steigern, so daß in den letzten Jahren fast 100000 t Guano eingesammelt worden sind. Im Grunde ist der Guanovogel ein Schädling der Fischerei, da er sehr gefräßig und mit Vorliebe Anchovis und junge Heringe frißt. Dieser Schaden, den er stiftet, wird durch seinen Nutzen reichlich aufgehoben.

In der grauen Vorzeit haben unsere Ahnen die Tiere, abgesehen vom Nahrungserwerb, gefangen und getötet, um zu Stoffen zu gelangen, welche sie vor Kälte und äußeren Einflüssen schützen sollten. Die erste Kleidung war zunächst sehr primitiv. Ein abgezogenes Fell oder Teile davon wurden so wie sie waren um den Körper geschlagen oder um die Füße gebunden. Allmählich entwickelt sich aus diesen Anfängen eine Bearbeitung der gewonnenen tierischen Felle, und es werden sowohl die Pelze als auch das Leder zu den verschiedensten Dingen verarbeitet.

Die Erlangung der Pelze wird mit der Zeit immer schwieriger, weil der Bestand von Pelztieren durch den starken Abschuß sehr gemindert wird. Die Menschen lernten auch aus anderen Stoffen wie der Wolle, aber auch aus Pflanzenfasern wie Leinen, Baumwolle, Bast usw. Kleidung herzustellen. In südlichen Ländern ist die Herstellung von Kleidungen aus Pflanzenstoffen überhaupt das primäre gewesen.

Zur Erzielung von guter Wolle werden guten Wollbehang tragende Tiere besonders herangezogen und herangezüchtet. Heute kennen wir eine ganze Reihe von Schafarten, die in den verschiedensten Gegenden im großen gehalten und gepflegt werden. In einzelnen Ländern spielt die Wollgewinnung und -ausfuhr eine wirtschaftlich wichtige Rolle. In anderen ist es wiederum die Gewinnung von Leder, welcher die gleiche Bedeutung zukommt.

Die Pelze und Felle der verschiedensten Tiere galten in früheren Zeiten vielfach als Wertmesser. Z. B. wurden noch bis gegen Ende des 19. Jahrhunderts im Hudsonbaigebiet alle Handelswaren nach Biberfellen bemessen. So wurden u. a. 1863 eine Flinte = 20 Biberfellen, ein Kupferkessel = 16, ein Maß Pulver oder 18 Kugeln oder 10 Feuersteine oder ein kleiner Spiegel oder ein Tabakbeutel mit Brennglas je einem Biberfell gleich gerechnet.

Die große Nachfrage nach Fellen verschiedener Tiere hat zum Teil zu der fast völligen Ausrottung der Tiere geführt. Heute sind in allen Kulturstaaten Gesetze und Bestimmungen erlassen, die den Abschuß der Tiere regeln und einer völligen Vernichtung der wertvollen Tiere vorbeugen sollen. Die Nachfrage nach einzelnen Pelzen richtet sich in gewissem nach der jeweiligen Mode. Zu den wertvollsten Pelzen gehören: der Silberluchs, Nerz, Skunks, Zobel, Hermelin, Biber, Bisamratte, Opossum, Silberfuchs u. a. m.

In neuerer Zeit ist man dazu übergegangen, Pelztiere in besonderen Pelztierfarmen zu züchten. Die erste Farm zur Züchtung des Nerzes wurde bereits 1873 im Staate New York errichtet. Heute befinden sich über 100 Nerzfarmen in den Vereinigten Staaten. 1900 begann man, auch den Skunks in Farmen zu

Phot. Biol. Reichsanst., Dahlem.

Abb. 281. Zwergmäuse an ihrem Nest.

züchten, die Anzahl dieser Farmen erreichte in den Vereinigten Staaten ungefähr die der Nerzfarmen. Um das Ausspritzen des Stinksaftes dieser Tiere beim Abfangen und Töten zu verhüten, werden sie durch Elektrizität umgebracht.

Die Pelztierfarmen, welche in Deutschland von Jahr zu Jahr immer mehr Interesse gewinnen, sind die Silberfuchsfarmen. Die Silberfüchse werden im Osten Amerikas schon seit längerer Zeit in Farmen gezogen. Die eigentliche Heimat der Tiere ist Nordamerika und Alaska. Die wertvollsten Tiere zeigen ein tiefes Schwarz mit Silberglanz (mit etwa 35% Silber gemischt). 1890 gründete ein Trapper die erste Silberfuchsfarm in Kanada. 1910 bestanden bereits 2380 staatliche Silberfuchsfarmen in Nordamerika und Kanada. In Europa wurde die erste derartige Farm 1913 gegründet. In Deutschland besitzen wir mehrere Silberfuchsfarmen, die alle in den letzten Jahren entstanden sind. Eine Rentabilität dieser Farmen muß sich erst erweisen. Die Anlage der Farmen und Anschaffung der Tiere kostet große Summen. Es dürfen nur einwandfreie Tiere zur ersten Zucht benutzt werden, die schwer zu beschaffen sind, zumal die kanadischen Züchter die Konkurrenz nicht gern sehen und ungeeignete Tiere nach Deutschland abschieben.

Die Pelze dienten ursprünglich als Schutzmittel vor den Einwirkungen der Kälte, doch finden wir bereits im Altertum, daß besonders wertvolle Pelze nur von den Vornehmsten getragen werden durften, für andere war das Tragen unter Strafe verboten. Die Pelze spielen hier schon nicht mehr die Rolle eines Kleidungsstückes, sondern die eines Schmuckes, werden doch mit besonders kostbaren und kleinen Pelzen die Kleider nur an bestimmten Stellen besetzt.

Eine weit größere Verwendung zu Schmuckzwecken finden die Vogelfedern. Die Nachfrage nach einzelnen Federarten war zeitweise so groß, daß die Ausrottung der betreffenden Vögel zu befürchten stand, der nur durch besondere gesetzliche Bestimmungen gesteuert werden konnte. Zu den am meisten begehrten Federn gehören die der Paradiesvögel, Reiher, Strauße, Fasane, Pfaue, Eiderenten, Kolibri u. a.

Eine gewaltige Zahl von Arbeitern (über 50000 in Paris, etwa 30000 in 5 Großstädten Deutschlands) werden von der Federindustrie beschäftigt. Welche Summen für Ein- und Ausfuhr ausgegeben werden, zeigt folgendes Beispiel: nach Deutschland kamen 1912 zur Einfuhr: rohe Straußen-, rohe Reiher-, Gänse-, Enten- und andere Federn im Werte von 16313000 GM., ausgeführt wurden im gleichen Jahre Federn der genannten Vögel im Werte von 2058000 GM.

Gewaltige Mengen von Federn sind es, die von der Federindustrie in mannigfachster Weise verarbeitet werden. Diese Federmengen sind der Industrie dank der hochentwickelten Geflügelzüchtereien gesichert. Diese Geflügelzüchtereien beugen auch einer Ausrottung der Vögel vor. Wir sahen, daß verschiedene Farmen bestehen, in denen die Lieferanten der am meisten begehrten Ware, der Straußenfedern gezogen werden. Die Straußenfarmen der Kapkolonie können allein den ganzen Weltbedarf decken. Farmen des amerikanischen Straußes, des Nandus, sind in Amerika und Frankreich vorhanden. Neben Straußenfarmen gibt es auch Farmen zur Zucht von Fasanen, Marabu, Silberreiher u. a.

Die Perlen, die sowohl im Altertum als auch in der Neuzeit hochgeschätzt wurden, sind wertvolle tierische Produkte der Weichtiere. Schon in vorgeschicht-

licher Zeit wurden die Perlen zu Schmuckstücken benutzt. Bekannt ist, daß Kolumbus als er in Amerika landete, Perlen in Mengen vorfand und bereits über Perlfischerei der Eingeborenen berichten konnte.

Die Perlen werden vom sog. Mantel der Perlmuschel gebildet. Der Mantel scheidet die Muschelschale ab und bildet außerdem auf besondere Reize hin diese Perlsubstanz. Entweder wird ein eingedrungener Fremdkörper durch den Mantel von Perlsubstanz umgeben, oder es können die im Mantel vorhandenen für die Schalenbildung bestimmten gelben Körnchen als eine Art Fremdkörper wirken und die Perlenkerne liefern. Diese Bildung von Perlensubstanz auf Reize durch Fremdkörper machte man sich schon seit sehr langer Zeit zunutze. In China besteht seit Jahrhunderten ein besonderer Industriezweig, der kleine Buddhabildchen oder andere Gegenstände zwischen Mantel und Schale einführt, um diese von Perlmutter überziehen zu lassen. Bereits nach etwa 6 Monaten werden solche vorbehandelten Muscheln abgetötet, die mit Perlmutter überzogenen Gegenstände entfernt und weiterverwendet. Es ist versucht worden, auf die gleiche Weise auch künstliche Perlen zu erzeugen, doch mißlingt das in den meisten Fällen, da die erzeugten Perlen mit der Schale der Muschel verwachsen.

Durch andere Verfahren ist es jedoch gelungen, freie runde Perlen künstlich zu erzielen. Eine besondere Muschelfarm zur Erzielung solcher freier Perlen besteht in Japan. Von der Behandlung der Perlmuschel bis zur Gewinnung der Perlen vergehen mehrere Jahre. Über das Verfahren selbst wird strengstes Stillschweigen bewahrt.

Welche Mengen von Muscheln jährlich vernichtet werden, um die Perlen zu gewinnen, geht daraus hervor, daß 1887 allein an der Küste von Ceylon etwa 31 Millionen, 1891 etwa 44 Millionen Perlmuscheln getötet und auf Perlen durchsucht worden waren. Um festzustellen, ob in einer Muschel Perlen vorhanden sind, mußten sie abgetötet werden; heute gelingt diese Feststellung auch ohne Schädigung des Tieres mit Hilfe von Röntgenstrahlen. Die Unterscheidung künstlich erzeugter Perlen von natürlichen ist durch besondere optische Vorrichtungen möglich.

Phot. Prof. Hase, Dahlem

Abb. 282. Orthezia urticae an Brennesseln. Eine Schildlaus, deren Körper von plättchenförmigen Wachsausscheidungen bedeckt ist.

Die verschiedensten Tiere, deren Teile oder Produkte werden vom Menschen in mannigfaltigster Weise zu irgendwelchen Zwecken herangezogen. Die angewandte

Zoologie hat hier in der Zukunft vielleicht ein reiches Betätigungsfeld, wenn die Biologie dieser nützlichen Tiere genauer erforscht wird und hierdurch der Nutzen der Tiere weiter gesteigert werden kann. Sollte die Nachfrage nach bestimmten Tieren besonders groß werden, so wäre es Aufgabe der angewandten Zoologie, diesen Mehrbedarf evtl. durch künstliche Heranzucht zu erzielen. Die Verwendung solcher Tiere, Tierteile oder -produkte gehen aus den nachfolgenden Beispielen hervor.

In Paris besteht ein großer Industriezweig, welcher aus Schmetterlingsflügeln oder glänzenden Flügeldecken der Käfer Schmucksachen und Ziergegenstände der verschiedensten Art herstellt. Käfer werden besonders vorbehandelt und im ganzen u. a. auf Krawattennadeln oder dgl. befestigt. Von den Schmetterlingen werden in den meisten Fällen nur die Flügel verwandt, die aufgeklebt zur Ausschmückung von Dosen, Gläsern und allerhand Geschenkartikeln und Andenken dienen. Hunderttausende von Insekten werden alljährlich zu diesen Dingen verbraucht.

Seit Anfang des 16. Jahrhunderts hat sich die Nachfrage nach Edelkorallen zu Schmuckzwecken gesteigert. Diese Korallen kommen in der Hauptsache im Mittelmeer und im adriatischen Meer vor. Den höchsten Preis erzielen die schön rosenrot gefärbten Stücke. Im Jahre 1875 wurden allein in Neapel über 110 kg dieser Edelkorallen verkauft, wobei über 4,5 Millionen Frank erzielt wurden. Die Hauptverarbeitung der Edelkoralle zu Schmuck- und Luxusartikeln geschieht in Paris, Marseille, Neapel, Livorno und Genua.

Mannigfacher Art sind die Erzeugnisse, die aus Tieren oder tierischen Produkten gewonnen werden. Es sei nur erinnert an die Tinten aus Gallen, das Wachs der Bienen, welches zu den verschiedenartigsten Zwecken verwendet wird. Eine Unmenge von Apothekerwaren, verschiedene Gifte, Leim, Fischleim, Gelatine, Farben usw. werden aus dem Tierreiche gewonnen. Der Blutegel wurde in vergangenen Zeiten viel häufiger angewandt als heute. Die spanische Fliege liefert heute noch die wirksame Substanz der Zugpflaster, sie spielte eine bedeutende Rolle im Orient und im alten Rom bei der Giftmischerei.

Eine Reihe von Riechstoffen werden von Tieren gewonnen. Die Zibetkatze liefert jenen moschusähnlichen Riechstoff, der bei allen Orientalen so ungemein beliebt ist. Vom Biber wird das Bibergeil oder Castoreum gewonnen, ein wachsartiger, dunkelgelber Stoff, der auch in der Medizin eine große Rolle spielt. Eine große Anzahl von Erzeugnissen, die in der Medizin benutzt werden, sind tierischen Ursprungs, wie z. B. das Adrenalin, die Gallensäure, das Kantharidin usw. Aber die Tiere können, wenn auch nur indirekt, zu Wohltätern des Menschen werden, man denke nur an die Gewinnung der verschiedenen Sera und Impfstoffe, die durch geeignete Vorbehandlung der Tiere von diesen gewonnen werden und den Menschen im Kampfe gegen Krankheiten und Seuchen unterstützen bzw. vor ihnen bewahren.

Die Aufgaben der angewandten Zoologie, welche eine Zeitlang von Wichtigkeit waren, können wieder ihre wirtschaftliche Bedeutung verlieren, wenn die Nachfrage nach den Tieren oder tierischen Produkten aus irgendwelchen Gründen aufhört. Z. B. war vor Erfindung der Anilinfarbstoffe die Koschenille eine der beliebtesten und kostbarsten Farbstofflieferanten. Die kanarischen Inseln führten in den siebziger

Jahren für etwa 15 Millionen Goldmark jährlich diese Läuse aus. Die Zucht der Koschenille, die früher eine große Rolle in der Wirtschaft spielte, ist heute bei der geringen Nachfrage fast bedeutungslos geworden.

Welche ausschlaggebende Rolle die angewandte Zoologie oft spielen kann, zeigt uns das Beispiel des Baues des Panamakanales. Zu Beginn des Kanalbaues hatten alle, die mit der praktischen Durchführung des Baues beauftragt waren, außerordentlich schwer unter dem Gelbfieber zu leiden. Der tägliche Ausfall an Arbeitern durch diese Krankheit ließ befürchten, daß der Bau nicht durchgeführt werden könnte. Da entschloß man sich zunächst, die Gegend von der Seuche zu befreien. Um dieses zu erreichen, wurden Arbeitertruppen vorgeschickt, welche die Überträger der Krankheit, die Mücke Stegomyia fasciata und besonders ihre Brutplätze vernichten mußten. Erst als die ganze Gegend von diesen Plagegeistern gesäubert war, konnte der Bau des Kanales durchgeführt werden.

X. Schlußwort.

Die verschiedenartigen und gewaltigen Aufgaben, die der angewandten Zoologie zufallen, konnten nur zum Teil in den vorhergehenden Abschnitten kurz gestreift werden, wobei die wirtschaftliche Bedeutung dieser Wissenschaft beleuchtet wurde. Eine große Zahl von Fragestellungen in der angewandten Zoologie harrt noch der Lösung, und immer neue tauchen auf. Die Bedeutung einzelner Zweige dieser Wissenschaft für die Weltwirtschaft und die Kultur bricht sich langsam Bahn. Die angewandte Zoologie — abgesehen von Medizin, Tiermedizin und Haustierzucht — wurde noch vor ganz kurzer Zeit an den Hochschulen vollkommen vernachlässigt. Wer sich mit diesen Forschungszweigen beschäftigen wollte, mußte sehen, sich die notwendigen Kenntnisse mühsam anzueignen. Heute ist darin bereits ein Fortschritt erzielt. Auf den Hochschulen werden immer mehr und mehr Vorlesungen und Übungen über angewandt-biologische Fragen abgehalten. Eine ganze Reihe von Instituten beschäftigt sich in erster Linie oder ausschließlich mit Fragen der Schädlingsbekämpfung in der Land- und Forstwirtschaft, dem Fischereiwesen, der Wasserhygiene, der Tierzucht usw. Ist erst dafür Sorge getragen, daß ein junger mit allen Kenntnissen und Errungenschaften der Neuzeit auf dem Gebiete der angewandten Zoologie vertrauter Nachwuchs herangebildet werden kann, so wird nicht nur dieser Forschungszweig gefördert, sondern auch hierdurch die Wirtschaft gehoben, und es werden Teile des Volksvermögens gerettet, die anderweitig nutzbringend angelegt werden können.

* * *

Neunter Teil

Angewandte Anthropologie

Von Prof. Dr. F. Lenz, München

Anthropologie heißt wörtlich Menschenkunde; und man hat in früheren Zeiten tatsächlich alles Wissen vom Menschen mit diesem Namen bezeichnet. Es liegt auf der Hand, daß eine so weite Fassung des Begriffs der Anthropologie hier nicht gemeint sein kann. Zur Naturgeschichte des Menschen gehört alles Wissen vom Bau des menschlichen Körpers und den Vorgängen in ihm, also alle Anatomie und Physiologie, und zwar sowohl das Wissen vom Bau und Verhalten des normalen als auch des kranken Menschen. Eine Anthropologie in diesem Sinne würde also nicht nur die gesamte Heilkunde und Gesundheitslehre umfassen, sondern auch noch mancherlei andere Gebiete. Tatsächlich beschäftigen sich jene Forscher und Gelehrten, die sich Anthropologen nennen, jedoch im wesentlichen mit der menschlichen Rassenkunde und Abstammungslehre. In diesem Sinne soll auch hier der Begriff der Anthropologie verstanden werden. Rassenkunde und Abstammungslehre hängen sachlich aufs engste zusammen. Die Bildung verschiedener Rassen des Menschen ist die unmittelbare Fortsetzung jener Vorgänge, die zur Herausbildung der Gattung Mensch geführt haben. Das Wesen jeder Art von Organismen liegt in ihrer erblichen Veranlagung, ihrer Erbmasse, begründet; und die Menschwerdung bestand darin, daß die Erbmasse der affenartigen Vorfahren des Menschen solche Änderungen erfuhr, daß sich daraus die spezifische Eigenart des Menschen ergab. Es ist also die Erbmasse, welche den Menschen zum Menschen macht. Nun ist aber die erbliche Veranlagung der verschiedenen Menschen keineswegs gleich. Nah blutsverwandte Menschen haben den größten Teil ihrer Erbmasse gemeinsam, Menschen verschiedener Rasse dagegen einen kleineren. Die Unterschiede der verschiedenen Menschenrassen beruhen eben auf verschiedener erblicher Veranlagung. Da Entsprechendes auch von den Unterschieden des heutigen Menschen gegenüber seinen anders gestalteten Vorfahren gilt, so ist sowohl die Abstammungslehre als auch die Rassenkunde Wissenschaft von den erblichen Unterschieden der Menschen. Die Lehre von den allgemeinen Gesetzen der Erblichkeit und Erbänderung bezeichnet man als Genetik. Die Anthropologie ist somit die Genetik des Menschen; und ich will demgemäß hier die Anwendung der menschlichen Genetik auf das praktische Leben besprechen.

Die Lehre von der Abstammung des Menschen kann dabei fast ganz außer Betracht bleiben. Sie hat zwar nicht geringe Bedeutung für unser theoretisches Weltbild; insbesondere ist sie geeignet, manche Vorurteile über die Stellung des

Menschen in der Welt zu beseitigen. Unmittelbar für unser Handeln ergeben sich aber keine Richtlinien daraus. Wohl müssen wir damit rechnen, daß der Mensch der Zukunft dem Menschen der Gegenwart nicht gleichen wird. Ob er aber ein „Übermensch" sein wird, steht dahin. Möglich ist auch, daß er ein „Untermensch" sein wird; nicht wenige Zeichen der Gegenwart lassen diese Möglichkeit sogar als wahrscheinlicher erscheinen. Ein allgemeines „Gesetz der Höherentwicklung" gibt es nicht. Zwar erscheint uns von unserm menschlichen Standpunkt aus gesehen die Entwicklung, welche zum Menschen führte, als eine Höherentwicklung. Nichts aber bürgt dafür, daß die Entwicklung auch in Zukunft in der gleichen Richtung weitergehen werde. Die Erdgeschichte bietet zahlreiche Beispiele von Tierstämmen, die nach einem gewissen Höhepunkt ihrer Entwicklung auf eine absteigende Bahn geraten oder ganz ausgestorben sind. Ein Aussterben des ganzen Menschengeschlechts ist allerdings nicht zu befürchten; die Möglichkeit einer absteigenden Entwicklung, einer Entartung, ist aber leider in greifbare Nähe gerückt. Viele Tatsachen sprechen dafür, daß die Kulturbegabung der abendländischen Menschheit seit Jahrzehnten im Niedergang befindlich ist. Einstweilen lassen sich die meisten Menschen nur durch den Fortschritt der Technik, der auf der Anhäufung und dem Ausbau von Überlieferungen beruht, darüber hinwegtäuschen. Wenn die in der erblichen Veranlagung begründete Kulturbegabung aber dauernd heruntergeht, so muß einmal die Zeit kommen, wo auch der äußere „Fortschritt" zum Stillstand kommt, ja, wo die Kultur zusammenbricht. Zugleich aber zeigt uns die menschliche Erblehre in ihrer Anwendung als Rassenhygiene, daß dieser Ausgang kein unabwendbares Verhängnis ist, daß vielmehr das Schicksal der Menschheit in ihre eigene Hand gelegt ist. Es wird ganz darauf ankommen, ob die Menschheit noch die Einsicht und die Tatkraft aufbringen wird, die Lehren der menschlichen Genetik entschlossen auf das Leben anzuwenden, oder nicht.

Außer dieser aufs Ganze gehenden Anwendung der Anthropologie, die weiter unten noch des Näheren erörtert werden soll, gibt es noch mancherlei Gebiete des praktischen Lebens, wo Erkenntnisse der menschlichen Genetik im einzelnen auf unmittelbare praktische Zwecke angewandt werden können.

Diese Anwendung beschränkt sich keineswegs auf das Körperliche, wie öfter angenommen wird. Alle Tatsachen sprechen vielmehr dafür, daß auch der Kern unserer seelischen Eigenart aus dem Erbe unserer Ahnen stammt. Für den, der biologisch zu denken gewöhnt ist, ist das sogar eigentlich nur selbstverständlich. Wir haben für die Erblichkeit seelischer Anlagen bereits eine Fülle von Erfahrungsbelegen; trotzdem wird sie mit Vorliebe bestritten. Es wird oft so hingestellt, als ob alle Erblichkeit und überhaupt alle Naturwissenschaft sich nur auf das Körperliche beziehe und als ob das Seelische gar nicht zur Natur gehöre. Schon Paulus hat gelehrt, daß auch Menschen nichtjüdischer Abstammung Nachkommen Abrahams im Geiste werden könnten, nämlich durch den Glauben, d. h. durch die Aneignung geistiger Werte. Seitdem zieht sich die Vorstellung eines Gegensatzes zwischen „Natur" und „Geist" durch die Geschichte des abendländischen Denkens. Im 19. Jahrhundert hat man auch die Wissenschaft in „Naturwissenschaft" und „Geisteswissenschaft" zerrissen, wobei man unter „Naturwissenschaft" die Lehre vom Körperlichen, unter „Geisteswissenschaft" die vom Geistigen verstand. Meist wurde dabei

vorausgesetzt, daß die „Natur" das Niedere, der „Geist" das Höhere sei, wenn nicht gar die Natur als das Böse angesehen wurde, das durch den Geist überwunden werden müsse. Gewisse „Geisteswissenschaftler" sahen daher hochmütig auf die Naturwissenschaften als auf Wissenschaften zweiten Ranges herab, obwohl sie nach dem Grade der Wissenschaftlichkeit ihrer Erzeugnisse gar keinen Anlaß zu dieser Überhebung hatten. Zugleich bestritten sie den Vertretern der Naturwissenschaften das Recht, über geistige Dinge mitzureden. So sollte der Anthropologe kein Recht haben, über seelische Eigenschaften der Menschenrassen etwas auszusagen oder überhaupt erbliche Unterschiede der Seele anzunehmen. Leider haben einige Anthropologen sich dadurch einschüchtern lassen und sich ängstlich auf die Erforschung des Körpers des Menschen beschränkt, wobei freilich auch die Furcht, durch Anerkennung seelischer Unterschiede der Menschenrassen sich mißliebig zu machen, mitgewirkt hat. Solange die Anthropologie nur auf körperliche Unterschiede angewandt wurde, erschien sie als harmlos; eine auf die seelischen Unterschiede der Menschenrassen angewandte Anthropologie aber wurde als gefährlich angesehen. Unterdessen hat aber der Fortschritt der Psychologie, der Seelenkunde, aus innerer Notwendigkeit dazu geführt, daß diese Wissenschaft sich immer mehr die Methode der Naturwissenschaft, die Beobachtung gegebener Erfahrungstatsachen und die Herbeiführung entscheidender Erfahrungstatsachen auf dem Wege des Experiments, zu eigen gemacht hat; und es liegt auf der Hand, daß jede Wissenschaft, die überhaupt zur Erkenntnis allgemeiner Gesetze des Seins und Geschehens kommen will, auf die Methode der Naturwissenschaft angewiesen ist. So wurde die Psychologie, die Wissenschaft von den Gesetzen des seelischen Seins und Geschehens, unvermeidlich eine Naturwissenschaft. Damit brach der ganze angebliche Gegensatz zwischen „Naturwissenschaften" und „Geisteswissenschaften" zusammen. Es ist in erster Linie ein Verdienst des Freiburger, jetzt in Heidelberg lebenden Philosophen Heinrich Rickert, das in scharfsinnigen Untersuchungen gezeigt zu haben. Auch das Geistesleben hat seine Gesetzlichkeit, d. h. seine Natur im Sinne Kants. Das ist freilich nur eine Seite des Geisteslebens, wie überhaupt alles Geschehens. Die andere Seite liegt in seiner Einmaligkeit und Einzigkeit; und diese ist Gegenstand der historischen Wissenschaften, deren Bedeutung gewiß nicht gering angeschlagen werden soll. Soweit aber eine Wissenschaft die Erkenntnis allgemeiner Gesetze des Seins und Geschehens zum Ziele hat, ist sie ihrem Wesen nach Naturwissenschaft. Auch die Erforschung der Erblichkeit seelischer Eigenschaften und der seelischen Unterschiede der Menschenrassen bzw. der Rassenunterschiede der Seele ist daher eine Aufgabe der Anthropologie.

Das wird nur bestätigt durch den Umstand, daß die Anthropologie in der Hand gewisser Anthropologen, die von seelischen Unterschieden der Menschenrassen nichts wissen wollten, schließlich zu einem eigentümlichen Wechselbalg geworden ist. Die meisten Leute denken, wenn sie heute von angewandter Anthropologie hören, vermutlich in erster Linie an Körpermessungen zum Zweck der Beurteilung des Erfolges von Leibesübungen, von Ernährungseinflüssen, von Heilmethoden usw. Die Körpermessung, die Anthropometrie, hat indessen mit der Anthropologie weiter nichts zu tun, als daß sie eines ihrer Hilfsmittel ist. Die Körpermessung kann genau so gut ein Hilfsmittel der Anatomie, der Physiologie, der Pathologie, der Hygiene

und irgendwelcher klinischer Spezialfächer sein. Ein Forschungsgebiet wird dadurch, daß in ihm mit Körpermessungen gearbeitet wird, also noch nicht zur Anthropologie, sondern nur dann, wenn die Körpermessungen zur Erfassung von erblichen bzw. Rassenunterschieden dienen. Gewiß muß der Anthropologe auch ein Interesse daran haben, wie die Ausgestaltung der Erbanlagen durch verschiedene Wirkungen der Umwelt, durch Ernährung, Übung usw. beeinflußt wird; aber an und für sich gehört dieses Studium der Umwelteinflüsse in die Physiologie, besonders die Entwicklungsphysiologie, und die Hygiene. Da diese für die Anthropologie nur Hilfswissenschaften sind, kann hier von einer Darstellung der Körpermessungen an Sportsleuten, an Schulkindern usw. abgesehen werden. Mit eigentlicher Anthropologie haben sie wenig zu tun.

Ein unmittelbares Interesse hat die angewandte Anthropologie an der Frage, welcher Körperbau und welche Leistungen des Menschen eigentlich als normal anzusehen seien, eine Frage, die man in den letzten Jahren durch systematische Körpermessungen lösen zu können glaubte. Man hat Individuen verschiedener Altersklassen und beider Geschlechter in großer Zahl gemessen, die statistischen Durchschnittswerte der einzelnen Maße berechnet und auf diese Weise in wissenschaftlich einwandfreier Weise bestimmen zu können geglaubt, was normal sei. Hier liegt indessen schon in der Voraussetzung, daß der Durchschnitt als Norm anzusehen sei, ein entscheidender Denkfehler. Um die Unhaltbarkeit dieser Voraussetzung zu zeigen, hat Hildebrandt dieses Verfahren im gedachten Beispiel auf die Zahl der Zähne angewandt. Man würde in einer Bevölkerung als durchschnittliche Zahl der Zähne vielleicht $30^1/_2$ finden. Es liegt aber auf der Hand, daß das nicht die normale Zahl sein kann. Auch in einem Lande, wo fast alle Leute einen Kropf haben, wird man den Kropf nicht als normal ansehen wollen. Ein treffendes Gleichnis, das die Gleichsetzung von Norm und Durchschnitt ad absurdum führt, hat auch Scheidt gegeben. Man stelle sich vor, daß alle Hunde in einem Lande gemessen würden und daß daraus der Typus des durchschnittlichen Hundes berechnet würde. Von den Hundekennern würde dieser „Normalhund" vermutlich für einen sogenannten Scherenschleifer erklärt werden. Auch beim Menschen darf die Mittelmäßigkeit nicht zur Norm erhoben werden. Ist das schon hinsichtlich des Körperlichen bedenklich, so wäre ein solches Ideal auf geistigem Gebiete geradezu verhängnisvoll. Jede Begabung, die mehr als mittelmäßig ist, müßte von jenen Normforschern, wenn sie folgerichtig wären, als abnorm angesehen werden, und man müßte bestrebt sein, sie auf den allgemeinen Durchschnitt herunterzudrücken. Leider bestehen derartige Bestrebungen nicht nur als gedachte Möglichkeit, sondern sie spielen auch im praktischen Leben eine gewisse Rolle, wenn sie in der Regel auch nicht offen bekannt werden und oft vielleicht ihren Vertretern auch nicht klar zum Bewußtsein kommen.

Wenn wir eingesehen haben, daß die Anthropologie auf dem Wege statistischer Durchschnittsforschung nicht zu einer Feststellung der Norm kommen kann, so entsteht die Frage: Kann oder darf sie etwa überhaupt keine Norm setzen? Die Anthropologie als reine Naturwissenschaft kann es tatsächlich nicht. Alle Naturwissenschaft handelt von den Gesetzen des Seins und Geschehens, nicht aber von dem, was sein oder geschehen soll. Sie kann mit anderen Worten keine Werte begründen.

Der Normbegriff aber ist unvermeidlich ein Wertbegriff; und er soll es sein. Wir brauchen Normen als Wertmaßstäbe zur Beurteilung alles Seins und Geschehens. Ohne solche Wertmaßstäbe würde alles Geschehen gleichgültig, alles Handeln sinnlos sein. Wir brauchen Normen auch zur Beurteilung des menschlichen Körpers und der menschlichen Seele. Auch die Anthropologie kann nicht ohne Normen auskommen, aber nicht, weil solche sich aus der Anthropologie als solcher ergeben würden, sondern weil ohne sie ihre Anwendung sinnlos sein würde — und damit die Anthropologie selber. Wenn wir anthropologische Erkenntnisse auf Fragen des Lebens anwenden, so setzen wir dabei voraus, daß das Leben einen Wert habe. Und wer an den Wert des Lebens glaubt, dem hat die Anthropologie Entscheidendes zu sagen. Sie kann zwar nicht den letzten Wert als solchen begründen, aber doch entscheidende Mittel zu seiner Erreichung an die Hand geben. Unter dieser Voraussetzung kann sie auch an der Schaffung von Normen mitwirken. Wenn das Leben erhalten werden soll, so müssen die Menschen lebenstüchtig sein. Damit wird die Lebenstüchtigkeit und Leistungsfähigkeit zum Gradmesser des Normalen. Ein Mensch, der nicht lebenstüchtig ist, ist auch nicht normal.

Daraus ergeben sich auch gewisse Beziehungen der Norm zum durchschnittlichen bzw. zum häufigsten Typus. Die am häufigsten vorkommenden mittleren Typen werden im allgemeinen auch lebenstüchtig sein, weil im Kampf ums Dasein eben diese am häufigsten überleben. Andererseits werden starke Abweichungen vom Durchschnitt meist krankhaft sein, aber — und das ist es, was die Vertreter der statistischen Normforschung übersehen — ausnahmslos gilt das keineswegs. Auch ein besonders leistungsfähiger, z. B. ein hochbegabter Mensch weicht stark vom Durchschnitt ab; es wäre aber unsinnig, ihn darum für nicht normal zu erklären.

Die Regel, daß im allgemeinen die lebenstüchtigen Individuen häufiger überleben als die untüchtigen, ist aber nicht ohne Ausnahme. Es können Verhältnisse eintreten, wo es gerade umgekehrt ist. Man spricht dann von Gegenauslese. So werden in der Gegenwart große Mittel aufgewandt, um den Schwachen und Untüchtigen das Leben zu erleichtern, während andererseits die Hochbegabten aus Gründen, die noch zu erörtern sein werden, eine so geringe Zahl von Kindern haben, daß der Bestand ihrer Familien im Durchschnitt nicht gewahrt bleibt. Die Fortpflanzung einer Bevölkerung kann zwar nicht unbegrenzte Zeiten hindurch den Charakter einer solchen Gegenauslese tragen, weil jede Kultur bei dauernder Gegenauslese über kurz oder lang zusammenbrechen muß; aus der Tatsache, daß überhaupt Gegenauslese vorkommen kann und gelegentlich Generationen hindurch vorkommt, folgt jedoch, daß auch einmal die untüchtigen Bevölkerungselemente in die Mehrzahl kommen können. Wenn man Lebenstüchtigkeit zur Bedingung der Normalität macht, so kann also auch aus diesem Grunde die Norm nicht durch Feststellung des durchschnittlichen oder des häufigsten Typus gewonnen werden.

Es ist überhaupt eine ganz unbegründete Voraussetzung, daß es nur einen einzigen normalen Typus oder „Normotypus" in einer Bevölkerung gebe. Alles spricht vielmehr dafür, daß mehrere recht verschiedene Typen ein Höchstmaß von Lebenstüchtigkeit und Leistungsfähigkeit aufweisen können. Nicht jeder Mensch hat eben die gleichen Aufgaben zu erfüllen. Ja, wenn man die Leistung eines

ganzen Volkes ins Auge faßt, so ergibt sich, daß erst aus der Zusammenarbeit recht verschieden ausgestatteter Menschen die höchstmögliche Leistung erwächst. Das Wohl des Volksganzen erfordert ebenso Menschen, die zur geistigen Führung, wie solche, die zur körperlichen Arbeit geeignet sind; und ein Gemeinwesen, in dem nur die eine Sorte vertreten wäre, würde minder leistungsfähig sein. In Wirklichkeit werden natürlich nicht nur zwei, sondern je nach der Höhe und Eigenart der Kultur mehr oder weniger viele verschiedene Menschentypen nötig sein; und alle diese können als normal angesehen werden.

Als Maßstab der Normalität kann somit die Leistungsfähigkeit und die wirkliche Leistung im Dienste der Gesamtheit gelten. Diese aber läßt sich nicht auf Grund einer schematischen Körpermessung, sondern nur mit Hilfe erfahrungsmäßiger Erforschung der verschiedenen Leistungstypen beurteilen. Und dabei hat die Anthropologie im Sinne der menschlichen Genetik entscheidend mitzuwirken. Alle menschliche Leistung erwächst aus dem Zusammenwirken von Erbanlage und Umwelt. Aufgabe der Anthropologie ist es, die für die verschiedenen Leistungen bedeutungsvollen Erbanlagen zu ermitteln. Die Sache liegt ja keineswegs so, daß man einen Menschen von durchschnittlicher Begabung zu jeder Leistung erziehen könnte. Hier darf noch einmal an den Vergleich mit den Hunden erinnert werden. Man könnte zur Not wohl auch einen Schäferhund für die Jagd oder einen Jagdhund zum Hüten der Schafe abrichten. Viel bessere Erfolge aber hat man, wenn man jede Hunderasse für den Zweck verwendet, auf den sie seit vielen Generationen gezüchtet ist. Entsprechend sind auch die Mitglieder verschiedener menschlicher Familien für die verschiedenen Leistungen und Berufe recht ungleich geeignet. Es gibt Offiziers-, Beamten-, Kaufmanns-, Handwerker-, Bauernfamilien usw. Besonders auffallend ist die Erblichkeit des Talents in Musikerfamilien; die Mitglieder der Familien bildender Künstler sind wieder anders begabt. Innerhalb der gelehrten Berufe findet man Mathematiker-, Philologen-, Juristen-, Pastoren-, Arztfamilien. Auch innerhalb der Handwerkerberufe ist die Familienveranlagung der Schneider eine andere als etwa die der Metzger oder der Zimmerleute. Natürlich ist diese Sonderung nach der Veranlagung keine scharfe, vor allem deshalb nicht, weil die verschieden veranlagten Familien sich vielfach durch Heirat miteinander mischen. Grundsätzlich ändert dieser Umstand aber nichts an der Bedeutung der familiären Erbanlagen für die Berufs- und Kulturleistungen verschiedener Menschen. Bei der Beurteilung eines Menschen müssen natürlich in erster Linie seine persönlichen Fähigkeiten und Leistungen (mehr als seine „Bildung" und seine Berechtigungsscheine) den Ausschlag geben; es wäre aber ein Fehler, wenn man darüber die Anhaltspunkte, die die Familiengeschichte zur Beurteilung der Anlagen eines Menschen bietet, vernachlässigen würde.

Die moderne Wirtschaft hat nicht nur Bedarf nach mancherlei differenzierten Begabungen, sondern auch nach billiger, primitiver Handarbeit. Auch dafür ist nicht jeder Mensch geeignet. Sie setzt große geistige und zum Teil auch materielle Bedürfnislosigkeit voraus. Die meisten geistig regsamen Menschen würden die eintönige Arbeit des ungelernten Arbeiters einfach nicht aushalten. Aber auch die meisten ungelernten Arbeiter, welche geistig nur unterdurchschnittlich begabt sind, sind bekanntlich mit ihrem Lose nicht zufrieden. Gleichwohl zeigt die Erfahrung,

daß die Nachkommen ungelernter Arbeiter in den meisten Fällen wieder ungelernte Arbeit annehmen, auch wenn ihnen Gelegenheit zur Erlernung gehobener gewerblicher Arbeit gegeben wird. Auch diese Erscheinung wurzelt in der erblichen Veranlagung, die in diesem Falle hauptsächlich in dem Mangel an Fähigkeiten und an Ehrgeiz zu höherer Leistung besteht. Immerhin liegt hier ein schweres Problem; denn menschlich befriedigend ist die Lage zahlreicher ungelernter Arbeiter auf keinen Fall. Andererseits kann die moderne Wirtschaft die primitive, ungelernte Arbeit nicht entbehren. Durch bloße Reform der Wirtschaftsordnung ist das Problem auch schwerlich zu lösen. Die Heranziehung aller Staatsbürger zu jeder Arbeit würde nichts bessern; denn die Unbegabten würden die höhere Arbeit eben nicht leisten können; und die Höhergearteten würden unter der primitiven Arbeit nur um so mehr leiden und ihrer eigentlichen Leistung entzogen werden. Die Lösung des Problems der primitiven Arbeit ist daher nicht ohne Berücksichtigung der Tatsache der verschiedenen erblichen Veranlagung zu lösen. Die humanste Lösung wäre möglicherweise die Züchtung eines arbeitsamen Menschenschlages, der geistige Interessen und Bedürfnisse nicht kennen würde. Nur dürfte diese Züchtung natürlich nicht unter Verdrängung des höhergearteten Menschentums erfolgen. Unsere gegenwärtige Kultur ist von der Lösung der Frage der primitiven Arbeit kaum weniger weit entfernt als die Antike, die jene Arbeit einfach den Sklaven zuwies. Wie damals die primitive Arbeit den im kriegerischen Kampfe Unterlegenen zugewiesen wurde, so verbleibt sie heute den im wirtschaftlichen und sozialen Wettbewerb Unterlegenen. Und was das Verhängnisvollste ist: der Sieg in diesem Wettbewerb wird in weitem Ausmaß durch Verzicht auf ausreichende Fortpflanzung erkauft. So kommt es, daß heute von den verschiedenen sozialen Schichten nur noch die der ungelernten Arbeiter eine zur Erhaltung der Familien ausreichende bzw. darüber hinausgehende Vermehrung aufweist. Die Folge ist, daß nach verhältnismäßig wenigen Generationen fast die ganze Bevölkerung von der heutigen Schicht der ungelernten Arbeiter abstammen und natürlich auch die geringe Begabung dieser Schicht aufweisen wird.

Derartige Folgerungen pflegen freilich als pessimistisch empfunden und mit einem ungläubigen Lächeln abgetan zu werden. Man hat sich im Zeitalter der (lamarckistischen) „Entwicklungslehre" eben an die optimistische Vorstellung gewöhnt, daß die Menschheit in einem dauernden Aufstieg begriffen sei. Auch jene Rassen und jene Klassen, die heute noch auf primitiver Stufe stehen, werden sich nach dieser Ansicht einmal alle Güter der Kultur aneignen und geistig dieselbe Höhe erreichen wie die hochstehenden Menschen. Die Vertreter dieser Ansicht unterscheiden nicht genügend zwischen zwei grundverschiedenen Dingen, den geistigen *Kulturgütern* und der geistigen *Begabung*. Die Aneignung der höheren geistigen Kulturgüter setzt eine Begabung voraus, wie sie die meisten Menschen der Gegenwart einfach nicht haben. Das wird bis zu einem gewissen Grade zwar auch von den Anhängern jenes Fortschrittglaubens zugegeben; sie meinen aber, daß die geistige Begabung eben infolge der Aneignung geistiger Güter wenigstens im Laufe einiger Generationen so gesteigert werden könne, daß es schließlich geistig tiefstehende Menschen gar nicht mehr zu geben brauche. In dieser fortschreitenden geistigen Hebung der Menschheit sieht man sogar das eigentliche Ziel der Kultur, insbesondere der Er-

ziehung. Dabei ist aber stillschweigend eine Voraussetzung gemacht, die von der wissenschaftlichen Erblichkeitsforschung nicht bestätigt worden ist, nämlich eine „Vererbung erworbener Eigenschaften". Nur wenn von dem, was eine Generation geistig aufnimmt oder erarbeitet, wenigstens ein Teil auf dem Wege biologischer Vererbung auf die nächste Generation übergehen würde, derart, daß diese nunmehr eine höhere Aufnahmefähigkeit bzw. Kulturbegabung hätte, nur dann würde eine dauernde Hebung des Menschengeschlechts auf diesem Wege möglich sein. Dafür fehlen aber nicht nur alle Unterlagen, sondern es bestehen sogar gewichtige Tatsachen, welche gegen das Vorkommen einer „Vererbung erworbener Eigenschaften" sprechen. Die führenden Genetiker unserer Zeit lehnen denn auch eine solche Möglichkeit einmütig ab. Das heißt natürlich nicht, daß alle Übung und Erziehung nutzlos wäre; aber sie kommt immer nur der jeweils lebenden Generation zugute, und jede neue Generation muß wieder von vorn anfangen. Wenn aber durch Übung und Erziehung eine Verbesserung der erblichen Veranlagung nicht erreicht werden kann, so führt das Aussterben der begabten Familien unweigerlich zu einer Verarmung der Bevölkerung an höheren Begabungen und damit auch zu einem Sinken der Durchschnittsbegabung im Laufe der Generationen.

Da man dieser unbequemen Folgerung um jeden Preis zu entgehen wünscht, leugnet man, wenn man schon eine „Vererbung erworbener Eigenschaften" nicht aufrechterhalten kann, gern die Erblichkeit der geistigen Begabung überhaupt. Man weist darauf hin, daß „Genies" nicht wieder ebensolche Söhne haben, daß einzelne Söhne tüchtiger Familien nicht selten aus der Art schlagen und daß nicht wenige hochbegabte Männer aus den untersten Volksschichten hervorgegangen sind. Also, meint man, müsse es wohl verborgene Quellen geben, aus denen sich die geistige Begabung der Bevölkerung fortdauernd ergänze und aus denen auch der Ausfall an Begabungen, der durch das Aussterben der führenden Familien entstehe, immer wieder gedeckt werde. Diese Ansicht ist indessen unzweifelhaft zu optimistisch. Der Umstand, daß geniale Menschen in der Regel nicht wieder ebensolche Söhne haben, spricht keineswegs gegen die erbliche Bedingtheit der Begabung. Damit eine geniale Begabung entstehe, müssen viele günstige Erbanlagen zusammenwirken. Jedes Kind bekommt von jedem seiner Eltern immer nur die Hälfte seiner Erbanlagen, und es ist in der Regel natürlich nicht immer gerade die bessere Hälfte. Selbst wenn die Frauen genialer Männer regelmäßig dieselben günstigen Erbanlagen haben würden, wie ihre Männer, was in Wirklichkeit natürlich fast niemals der Fall ist, so würde doch nicht zu erwarten sein, daß die Kinder genialer Menschen ihren Eltern gleichkämen. Darum aber kann jede einzelne dieser Anlagen durchaus erblich sein; und wir haben allen Anlaß zu der Annahme, daß das wirklich so ist. Auch der Umstand, daß aus hochstehenden Familien nicht selten ganz unbegabte Kinder hervorgehen, spricht keineswegs gegen die Erblichkeit der Begabung. Als man das von Mendel entdeckte Gesetz der Vererbung noch nicht kannte, konnte man sich solche Fälle freilich nicht erklären; seitdem wir aber wissen, daß die Erbmasse aller sich geschlechtlich fortpflanzenden Lebewesen einschließlich des Menschen aus einer großen Zahl selbständiger Erbanlagen besteht, die im Laufe der Generationen sich zu immer neuen Mosaikbildern zusammenfügen, von denen jede einzelne ihre Eigenart aber durch unabsehbare Generationen bewahrt, hat die Erscheinung, daß in einzelnen Fällen

Kinder ihren Eltern nicht gleichen, nichts Unerklärliches mehr. Ich kann an dieser Stelle nicht die Gesetze der Erblichkeit im einzelnen besprechen, sondern muß in dieser Hinsicht auf die Ausführungen von Schäffer im zweiten und von Cappeller im dritten Bande dieses Werkes verweisen. Die Summe seiner günstigen Erbanlagen ist der wertvollste Besitz eines Volkes; und es liegt nicht in menschlicher Macht, die einzelnen Erbanlagen zu verbessern. Eine Verbesserung der gesamten Erbmasse der Bevölkerung aber wäre auf die Weise möglich, daß die wertvolleren Erbstämme sich stärker vermehren würden als die minder wertvollen. Davon sind wir aber gegenwärtig weit entfernt; und das, worauf es hier zunächst ankommt, ist die Einsicht, daß der Verlust, den ein Volk durch das Aussterben der bewährten und tüchtigen Familien erleidet, durch das Aufsteigen anderer Familien aus den unteren Schichten auf keinen Fall ersetzt werden kann, daß vielmehr gerade dadurch auch die unteren Schichten im Laufe der Generationen fortschreitend an tüchtigem Erbgut verarmen.

Mit der Einsicht, daß in der erblichen Veranlagung eines Menschen alle Möglichkeiten begründet liegen, die durch Erziehung und Lebensschicksale verwirklicht werden können, erscheinen die Aufgaben der Erziehung in einem andern Licht, als man sie bisher meist zu sehen pflegt. Solange man nicht sah, daß in der erblichen Veranlagung unübersteigliche Grenzen der Entwicklungs- und Leistungsmöglichkeiten jedes Menschen liegen und daß diese Grenzen auch nicht durch generationenlang einwirkende Erziehungseinflüsse beseitigt werden können, hat man die Möglichkeiten der Erziehung meist stark überschätzt. Durch die Erkenntnis dieser Grenzen wird die Erziehung zwar gewiß nicht entwertet — bleibt ihr doch innerhalb jener Grenzen ein weites und fruchtbares Wirkungsfeld —; neben die Erziehung tritt aber als nicht minder wichtige Aufgabe die, möglichst jeden Volksgenossen an den ihm gebührenden Platz zu stellen, d. h. an den Platz, auf dem er seiner Veranlagung und Bildung nach das Beste für die Gesamtheit leisten kann.

Bei der Berufsberatung werden für die Beurteilung der Aussichten eines jungen Menschen nach wie vor die Schulleistungen und etwaige sonstige Leistungen im bisherigen Leben wesentlich in die Waagschale fallen müssen. Die Schulleistungen und Berechtigungsscheine werden in Zukunft aber weniger als Ausweise über das, was ein Mensch gelernt hat, als vielmehr als Anhaltspunkte für seine Begabung und Leistungsfähigkeit zu bewerten sein. In der Erkenntnis, daß auf die Veranlagung mehr ankommt, als man bisher meist angenommen hatte, hat man für verschiedene Berufe psychologische Eignungsprüfungen auszuarbeiten gesucht; doch werden diese immer nur neben den Schulleistungen zur Beurteilung herangezogen werden dürfen und diese jedenfalls nie ersetzen können. Das Urteil eines einsichtigen Lehrers, der einen jungen Menschen jahrelang kennt, wird für die Berufsberatung im allgemeinen wertvoller sein als das Ergebnis einer kurzen Untersuchung durch einen Psychotechniker, der sich über Eigenschaften wie Fleiß, Ausdauer und Gewissenhaftigkeit, die im Beruf so wichtig sind, schwerlich ein zuverlässiges Urteil wird bilden können. Im allgemeinen wird es überhaupt kaum möglich sein, einem jungen Menschen positiv zu einem bestimmten Beruf zu raten; aber die negative Berufsberatung, d. h. die Warnung vor Berufen, denen der zu Beratende voraussichtlich nicht gewachsen sein wird, ist im Grunde auch wichtiger. Das gilt speziell auch von der ärztlichen

Berufsberatung, deren Aufgabe es ist, die jungen Leute von Berufen fernzuhalten, von denen ihnen mit Rücksicht auf ihren Gesundheitszustand bzw. ihre gesundheitliche Veranlagung ernste Gefahren drohen. Die volkswirtschaftliche Berufsberatung hat vor Berufen zu warnen, die wegen Überfüllung oder aus anderen wirtschaftlichen Gründen schlechte Aussichten bieten. Den positiven Anstoß zur Wahl eines bestimmten Berufes sollte nach Möglichkeit die persönliche Neigung bieten; und wenn diese Neigung sehr ausgesprochen ist und sich mit besonderer Begabung für das gewählte Fach verbindet, so können sogar andere entgegenstehende Bedenken, wenn sie nicht zu schwerwiegender Art sind, zurückgestellt werden. Gesichtspunkte angewandter Anthropologie kommen bei der Berufsberatung hauptsächlich insofern in Frage, als ein junger Mann, dessen Eltern und Großeltern sich schon in einem bestimmten Berufe bewährt haben, mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit sich ebenfalls darin bewähren wird. „Borniert und lächerlich ist es, nicht darauf sehen zu wollen, wessen Sohn einer ist", hat schon Schopenhauer gesagt. Auch bei der ärztlichen Berufsberatung sollte der Gesundheitszustand der Familie berücksichtigt werden. Abkömmlinge neurasthenischer oder sonstwie psychopathischer Eltern müssen vor sehr verantwortlichen und aufreibenden Berufen gewarnt werden. Junge Leute aus Familien, in denen Schwindsucht gehäuft auftritt, tun gut, nicht einen Beruf zu wählen, der die Gefahr der Erkrankung an Schwindsucht erhöht. Bei der Beurteilung der erblichen Veranlagung weiter als bis zu den Großeltern zurückzugehen, hat keinen praktischen Wert. Dagegen können die Geschwister der Eltern und die eigenen Geschwister wertvolle Anhaltspunkte bieten. Selbst die Vettern sind in dieser Hinsicht wichtiger als die Urgroßeltern, da sie meist noch am Leben sind, während über die Urgroßeltern selten etwas Zuverlässiges bekannt ist. Stets aber sollte die Familiengeschichte nur zur Ergänzung des Urteils über einen jungen Menschen herangezogen werden. Wichtiger sind unter allen Umständen seine eigenen Anlagen und Leistungen.

Bei der Berufsberatung sollte auch die meist völlig außer acht gelassene Frage berücksichtigt werden, ob es für den Betreffenden erwünscht wäre und ob es ein Gewinn für die Gesamtheit wäre, daß er eine Familie gründe und Kinder habe. Gewisse Berufe wie der des katholischen Geistlichen und die meisten geistigen Frauenberufe würden unter dem Gesichtspunkt angewandter Genetik am besten solchen Personen vorbehalten bleiben, deren Fortpflanzung aus irgendeinem Grunde nicht erwünscht wäre. In geringerem Grade gilt Entsprechendes auch von solchen Berufen, die zwar an und für sich mit der Familiengründung vereinbar, erfahrungsgemäß aber sehr kinderarm sind, wie z. B. der Beruf des Künstlers, des Schriftstellers und des Politikers.

Das für die Berufsberatung Gesagte gilt auch für die Beurteilung eines Menschen im allgemeinen. Besonders in den letzten Jahren ist die Frage lebhaft erörtert worden, ob man aus den anthropologischen Merkmalen eines Menschen auf seine Begabung und seinen Charakter schließen könne. Daß das bis zu einem gewissen Grade möglich ist, ist zweifellos. So erkennt man einen Menschen mit dunkler Hautfarbe, krausem Haar, breiter, flacher Nase und wulstigen Lippen als Neger, und man geht im allgemeinen nicht fehl, wenn man annimmt, daß er auch die geistige Eigenart eines Negers habe, d. h. daß er geistig weniger begabt sei als der Durchschnitt

der Europäer, daß er von leichtem, beweglichen Temperament und für unsere Begriffe kindlichem Charakter sei. Entsprechend würde man einen Mongolen, einen Indianer, einen Nordeuropäer als solche erkennen und ihnen mit einem nicht geringen Grade von Wahrscheinlichkeit die ihrer Rasse eigenen seelischen Wesenszüge zuschreiben können. Auf die seelische Eigenart der verschiedenen Menschenrassen brauche ich an dieser Stelle nicht einzugehen; ich kann in dieser Hinsicht auf die Ausführungen von Kraitschek im dritten Bande verweisen. In unserer Bevölkerung kann man bei genügender Erfahrung und Übung einen Juden an seinem äußeren Typus erkennen; und man würde die begründete Erwartung hegen dürfen, daß der mit einer solchen Physiognomie ausgestattete Mensch eine überdurchschnittliche Begabung für Denken in abstrakten Begriffen, für Rechnen und für Geldgeschäfte, aber eine unterdurchschnittliche für Technik, für bildende Kunst, für militärische Leistung und für landwirtschaftliche Arbeit habe, um nur einige der auffallendsten Züge zu nennen; kurz, man würde erwarten dürfen, daß ein Mensch, der seinem äußeren Typus nach als Jude erkenntlich ist, auch die geistige Wesensart eines Juden habe.

Nun erhebt sich die weitere Frage, ob man auch innerhalb unserer Bevölkerung ganz allgemein aus äußeren Rassenmerkmalen auf die geistige Eigenart schließen könne. Die Frage ist keineswegs leicht zu beantworten. Es ist in den letzten Jahren unter dem Einfluß der Bücher von Hans Günther in weiten Kreisen üblich geworden, den einzelnen Menschen nach einigen äußeren Merkmalen schematisch gewissen Rassen zuzuordnen, aus denen man sich die Bevölkerung Europas aufgebaut denkt. So bringt z. B. Günther in seiner „Rassenkunde des deutschen Volkes" ein Bild Beethovens mit der Kennzeichnung „vorwiegend ostisch". In dem Kapitel über „die seelischen Eigenschaften der ostischen Rasse" liest man dann: „Der ostische Mensch hat keinen oder wenig Sinn für irgendein weitherziges Tun und Fühlen, für irgendwelchen seelischen Aufschwung. Er ist der eigentliche, an sich, seine Familie, seinen Gelderwerb und seine beschauliche Ruhe denkende Spießbürger"; „selbst als Künstler ist der ostische Mensch kleinlich". Es sei der bezeichnende ostische Zug, „Tag für Tag selbst in der seelenlosesten Betriebsamkeit fortzuleben" usw. Ich zweifle nicht, daß Günther sich darüber klar ist, daß dieses geistige Bild auf Beethoven nicht paßt und daß man innerhalb einer gemischten Bevölkerung überhaupt nicht ohne weiteres aus äußeren Rassenmerkmalen des einzelnen Menschen auf seine rassische Eigenart auch in geistiger Hinsicht schließen darf. Wenn er aber zahlreiche bekannte Persönlichkeiten abbildet und mit Kennzeichnungen wie „nordisch", „dinarisch", „ostisch" oder „nordisch-dinarisch", „ostisch-nordisch" usw. versieht, so werden sie damit für den Durchschnittsleser unvermeidlich in ein Schema eingeordnet und auch ihrem geistigen Wesen nach abgestempelt. Aus dem Vorhandensein jener wenigen Merkmale, nach denen die Unterschriften gemacht zu werden pflegen, folgt für den Hauptteil der Erbmasse und für die geistige Wesensart eines Menschen aber wenig oder gar nichts. Es ist in unserer Bevölkerung z. B. durchaus möglich, daß ein helläugiger blonder Mensch eine seelische Veranlagung habe, wie sie eigentlich einer dunklen Rasse zukommt. Mit größerer Wahrscheinlichkeit als aus derartigen körperlichen Rassenmerkmalen kann man aus der Abkunft eines Menschen auf seine seelische Veranlagung schließen. Unter niedersächsischen Bauern stellt ein kleiner dunkelhaariger Mensch eine Ausnahme dar; er hat aber trotzdem mit viel größerer Wahrscheinlichkeit

nordische Anlagen der Seele als z. B. ein großer blonder Süditaliener, obwohl auch bei diesem jene Merkmale, die ihm unter seinen Volksgenossen ein auffallendes Äußere verleihen, ein Erbteil der nordischen Rasse sein mögen. Da aber die meisten Menschen nicht solche Ausnahmen darstellen, sondern dem Durchschnittsbilde ihrer Bevölkerung ähnlich sind, so ist ein Schluß aus der körperlichen Erscheinung auf die seelische Veranlagung doch sehr oft wenigstens annähernd zutreffend. Und er ist mit um so größerer Wahrscheinlichkeit zutreffend, je ferner sich die beiden Bevölkerungen im ganzen stehen (Juden und Nichtjuden einerseits, Neger und Nordeuropäer andererseits) und je länger sie in geographischer oder sonstiger Absonderung sich in relativer Reinzucht fortgepflanzt haben.

Entgegen verbreiteten Irrtümern ist nämlich zu betonen, daß die verschiedenen Anlagen einer Rasse nicht in Verbindung miteinander, sondern jede für sich vererbt werden. In einer gemischten Bevölkerung stehen die verschiedenen Erbanlagen einer Rasse daher nicht in Korrelation miteinander. Wenn bei uns Haar- und Augenfarbe in einer ziemlich hohen Korrelation stehen, d. h. häufiger beide hell oder beide dunkel sind, als es bei rein zufälligem Zusammentreffen zu erwarten wäre, so liegt das daran, daß es Erbanlagen gibt, die zugleich in Auge und Haar Farbstoffbildung zur Folge haben, und nicht etwa daran, daß besondere Anlagen für Haar- und Augenfarbe vorzugsweise gemeinsam vererbt würden. Faßt man dagegen sehr große Gebiete ins Auge, etwa den ganzen europäisch-asiatischen Kontinent, so findet man allerlei Korrelationen, die innerhalb der einzelnen Bevölkerungen vermißt werden. Bei so weiter Fassung des Gebietes besteht z. B. eine beträchtliche Korrelation zwischen Augenfarbe und Nasenform, da schmale, vorspringende Nasen und helle Augen in Nordwesteuropa, breite, flache Nasen und braune Augen in Ostasien die Regel sind.

Wenn, wie wir gesehen haben, innerhalb einer gemischten Bevölkerung ein Schluß aus äußeren Rassenmerkmalen auf die seelische Eigenart nicht ohne weiteres erlaubt ist, so folgt daraus andererseits doch keineswegs, daß zwischen dem äußeren Typus und der seelischen Eigenart überhaupt keine Beziehung bestände. Wenn wir einen Menschen sehen, den wir bisher nicht kannten, so haben wir rein aus seinem Äußeren meist auch einen bestimmten Eindruck von seinem Wesen, der in der Regel auch einigermaßen zutreffend ist. Auch ein Lichtbild vermittelt bereits einen gewissen Eindruck der seelischen Eigenart. Das große Interesse, das man allgemein den Bildern bekannter Persönlichkeiten entgegenbringt, beruht hauptsächlich darauf, daß die Bilder von der Seele zeugen. Es muß also gewisse Züge im Äußeren eines Menschen geben, aus denen man auf seine Seele schließen kann. Wir alle haben instinktiv und aus Erfahrung eine mehr oder weniger große Fertigkeit darin. Wissenschaftlich ist dagegen die Erfassung dieser Zusammenhänge bisher nur zum sehr kleinen Teil gelungen. Soweit diese Dinge Gegenstand der angewandten Anthropologie sind, handelt es sich nicht um den wechselnden Ausdruck des Mienenspiels und der Gesten, auch nicht um den bleibenden Ausdruck, den eine lange Zeit geübte Tätigkeit oder lange einwirkende Einflüsse der Umwelt einem Menschen aufprägen (Ausdruck eines Schauspielers, eines Geistlichen, eines Gebildeten im allgemeinen, eines Bauern usw.), sondern um jenen Teil der Physiognomie, der schon in der erblichen Veranlagung begründet liegt und der gerade für Begabung, Temperament und Charakter von besonderer Bedeutung ist. Es gibt bekanntlich kluge und dumme Gesichter, freund-

liche und herbe, regsame und träge usw. Geistig begabte Menschen haben im allgemeinen eine hohe Stirn und überhaupt einen großen Kopf. Das einfachste näherungsweise Maß der Kopfgröße ist der Kopfumfang. Nach Bayerthal kommen bei einem Kopfumfang von weniger als 52 cm höhere geistige Leistungen kaum noch vor. Geniale Begabung ist bei einem Umfang von weniger als 52 cm auszuschließen. Der Psychiater Ziehen ist sogar zu dem Schluß gekommen, daß erwachsene Personen von weniger als 52 cm Kopfumfang in der Regel schwachsinnig sind. Röse hat durch Untersuchungen in Schulen festgestellt, daß die besten Schüler in der Regel auch die größten Köpfe zu haben pflegen, obwohl sie in den oberen Klassen jünger als der Durchschnitt ihrer Klasse zu sein pflegen. Während aber unterhalb einer gewissen Grenze des Kopfumfangs höhere Begabung mit Sicherheit auszuschließen ist, darf man nicht etwa auch umgekehrt aus einem ungewöhnlich großen Kopf auf eine ungewöhnlich hohe Begabung schließen; sie kann vorhanden sein, muß es aber nicht. Die Sache liegt ganz entsprechend wie bei dem Zusammenhang von Brustumfang und körperlicher Kraft. Bei sehr geringem Brustumfang (Engbrüstigkeit) ist gute körperliche Leistungsfähigkeit mit Sicherheit auszuschließen; das ist ja das hauptsächlichste Kennzeichen, aus dem bei militärischen Musterungen auf „allgemeine Körperschwäche" geschlossen zu werden pflegt. Menschen mit großem Brustumfang brauchen aber keineswegs besonders leistungsfähig zu sein; bei Lungenblähung (Emphysem) und Fettsucht pflegt der Brustumfang überdurchschnittlich groß zu sein, die körperliche Leistungsfähigkeit aber gering. Gleichwohl aber sind Menschen mit größerem Brustumfang im Durchschnitt leistungsfähiger als solche mit kleinerem. Entsprechendes gilt auch von dem Zusammenhang zwischen Kopfgröße und Intelligenz.

Hochbegabte Menschen haben in der Regel auch große oder lange Nasen, wie besonders Woods gezeigt hat. Höher begabte Gruppen von Menschen haben im Durchschnitt längere Nasen als weniger begabte.

Aber nicht nur Unterschiede der Verstandesbegabung, sondern auch solche des Temperaments und Charakters kommen in der äußeren Erscheinung zum Ausdruck. Es ist eine bekannte Erfahrung, daß große Hunde ruhig und bedächtig, kleine lebhaft und beweglich zu sein pflegen; und Entsprechendes gilt auch von großen und kleinen Menschen. Massige Kiefer verleihen einem Gesicht etwas Brutales; ein ausgesprochenes Kinn deutet auf Energie und Unternehmungslust. Die Karikaturenzeichner wissen, daß ein Idealist schmal und blaß, ein Realist breit und vollbäckig zu sein hat. Diese letztere Beziehung hängt mit dem von Kretschmer beschriebenen und durch Körpermessungen belegten Unterschied zwischen schizothymen und zyklothymen Charakteren zusammen. Kretschmer ging dabei von Unterschieden im Körperbau aus, die er zwischen gewissen Gruppen von Geisteskranken fand. Es zeigte sich, daß Geisteskrankheiten aus der Gruppe der sog. Schizophrenien, die sich in erster Linie in einer Verödung des Gefühls- und Willenslebens äußern, vorzugsweise bei Menschen von schlankem („leptosomem") und daneben auch bei solchen von besonders robustem (athletischem) Körperbau vorkommen, Geisteskrankheiten der manisch-melancholischen Gruppe, die sich in krankhaften Störungen der Stimmungslage (unbändiger heiterer Erregung oder andererseits auch in tiefster trauriger Verstimmung) äußern, dagegen bei Menschen von untersetztem („pyknischem" oder „eurysomem") Körperbau. Entsprechende Unterschiede, die inzwischen von zahlreichen andern Untersuchern be-

stätigt worden sind, hat Kretschmer auch bei leichteren geistigen Anomalien, die in der gleichen Richtung liegen, gefunden, also bei den schizoiden Psychopathien einerseits, den manisch-melancholischen andererseits. Und schließlich meint Kretschmer, diese Beziehungen auch im Bereich der normalen Charakterunterschiede verfolgen zu können. Er faßt die schizoiden Psychopathien mit den in gleicher Richtung ausgeprägten normalen Charakteren als schizothyme Charaktere zusammen, die zykloiden Psychopathien mit den entsprechenden normalen Charakteren als zyklothyme Charaktere. In diesem Zusammenhang interessieren natürlich in erster Linie die Unterschiede der beiden Gruppen normaler Charaktere. Nach Kretschmer neigen schizothyme Menschen zum Sichzurückziehen auf das eigene Ich, zum Insichhineinleben, zur Absonderung von den Mitmenschen, zur Ausbildung einer Traum- oder Prinzipienwelt. Sie stellen einerseits mürrische Sonderlinge und kalte Egoisten, andererseits feinsinnige Idealisten und zarte Formaristokraten. In der Kunst betätigen sie sich als stilreine Formkünstler, weltflüchtige Romantiker, tragische Pathetiker und geistreiche Ironiker. In ihrer wissenschaftlichen Betätigung haben sie einen Hang zum Formalen, Systematischen und Metaphysischen. Wo sie als Führer ins handelnde Leben eingreifen, erscheinen sie in den Typen der Herrennaturen, heroischen Moralisten, Fanatiker und kalten Rechner. Die zyklothymen Menschen dagegen neigen zum Aufgehen in Umwelt und Gegenwart, sie sind meist aufgeschlossen, gesellig, gemütlich-gutherzig und natürlich-unmittelbar, entweder mehr flott unternehmend oder mehr beschaulich, behäbig und schwerblütig. Sie stellen die Alltagstypen des tatkräftigen Praktikers und des sinnenfrohen Genießers. In der Kunst betätigten sie sich als behaglich schildernde Realisten und als gutmütig-herzliche Humoristen, in der Wissenschaft als anschaulich beschreibende Empiriker und Sammler von Einzeltatsachen. Im praktischen Leben stellen sie verständige Vermittler, großzügige Organisatoren und flotte Draufgänger. Soweit den Charaktertypen jeder der beiden geschilderten Gruppen etwas gemeinsam ist — und es ist nicht wenig —, kann man also aus dem Körperbau darauf schließen. Und da diese Typen sowohl ihrer seelischen als auch ihrer körperlichen Konstitution nach in der Erbmasse wurzeln, handelt es sich um eine Aufgabe der angewandten Anthropologie.

Um Mißverständnissen vorzubeugen, sei ausdrücklich bemerkt, daß ein Mensch durch die Einordnung in die schizothyme oder die zyklothyme Gruppe nach Charakter und Temperament selbstverständlich nicht vollständig gekennzeichnet ist. So wenig wie man alle Farben in die Reihe Schwarz-Weiß einordnen kann, so wenig ist Entsprechendes auf dem Gebiet der seelischen Wesensart möglich. Sicher wird der Fortschritt der Forschung noch mancherlei andere Gesichtspunkte zeitigen, bisher ist aber über seelische Unterschiede in anderer Richtung und ihre körperlichen Zeichen so wenig bekannt, daß hier davon abgesehen werden kann.

Die Unterschiede der Konstitutionstypen haben ganz offenbar gewisse Beziehungen zu den Unterschieden der großen Rassen. So gehört der schlanke (leptosome) Körperbau zum Bilde der Bewegungsrassen (z. B. der nordischen und der orientalischen); und es ist nicht zu verkennen, daß diese Rassen seelisch schizothyme Züge im Sinne Kretschmers aufweisen. Der untersetzte (pyknische) Körperbau gehört zum Bilde der seßhaften Pflanzerrassen (z. B. der mongoliden und der vorderasiatischen); und seelisch zeigen diese Rassen zyklothyme Merkmale. Man darf annehmen,

daß die großen Menschenrassen Züchtungsprodukte der ökologischen Lebensbedingungen sind. Außer der Wirkung des Klimas dürfte hauptsächlich die Wirtschaft der Urzeit für diese Züchtung entscheidend gewesen sein. Die ursprünglichste ökonomische Stufe ist die Sammelwirtschaft, in der der primitive Mensch seine Nahrung unmittelbar aus der Natur entnimmt. Aus dieser Urwirtschaft gingen nach Graebner und W. Schmidt zwei primäre Kulturkreise hervor, der vaterrechtliche Kulturkreis der Jäger und der mutterrechtliche Kulturkreis der primitiven Hackbauer oder Pflanzer. Diese beiden Wirtschaftsarten scheinen zur Züchtung der beiden genannten, in vieler Hinsicht einander entgegengesetzten Typen des Körpers und der Seele geführt zu haben, worauf Kern aufmerksam gemacht hat. Im Kulturkreis der Jäger und in dem aus ihm hervorgehenden der Wanderhirten wurde durch natürliche Auslese der bewegliche leptosome Typus mit langen Gliedmaßen gezüchtet, im Kulturkreis der Pflanzer dagegen der untersetzte pyknische Typus mit kurzen Gliedmaßen. Der Jäger und Nomade mußte vor allen Dingen beweglich sein. Das war für den primitiven Pflanzer nicht nötig, für ihn war Seßhaftigkeit vorteilhafter; und er bedurfte zur Ausnutzung seiner viel weniger nahrhaften und daher umfangreicheren Nahrung großer Verdauungsorgane, die nur in einer großen Leibeshöhle Platz finden konnten. Der Jäger und Nomade bedurfte keines großen Bauches, da seine Nahrung viel hochwertiger war; er würde durch einen solchen nur behindert worden sein; dagegen mußten bei ihm die Organe der Brust, das Herz und die Lunge im Interesse der Bewegung stark entwickelt sein. So wurden die Jäger bzw. Nomaden gewissermaßen als Brustrasse, die Pflanzer als Bauchrasse gezüchtet. Für die Bewegungsrasse war Magerkeit von Vorteil; die seßhaften Rassen konnten mit Hilfe ihrer Neigung zu Fettansatz besser über Zeiten des Hungers hinwegkommen. Auch in ihrer seelischen Wesensart sind die Bewegungsrassen und die Pflanzerrassen auf einem entgegengesetzten Typus gezüchtet. Die Bewegungsrassen sind auch seelisch beweglich, unruhig, unternehmend, energisch, mutig, angriffslustig, unabhängig, herrisch, hochmütig, anspruchsvoll, weitblickend, großzügig, die Pflanzerrassen seßhaft, geduldig, ausdauernd, arbeitsam, nachgiebig, zäh im Erdulden, gesellig, demütig, genügsam. Die Bewegungsrassen unterscheiden sich von den Pflanzerrassen körperlich und seelisch in ähnlicher Richtung wie das männliche vom weiblichen Geschlecht. Im wesentlichen hat schon Gustav Klemm den Gegensatz der Bewegungsrassen und der Pflanzerrassen richtig gesehen, als er in den vierziger Jahren die „aktiven" und die „passiven" Rassen einander gegenüberstellte und ihre verschiedene Bedeutung für die Kulturgeschichte erörterte. In neuerer Zeit haben Stoddard und Bean, Viola und Pende die beiden entgegengesetzten Typen in den modernen Bevölkerungen gesehen und ihre Bedeutung hervorgehoben. Auch unter den vier Konstitutionstypen Sigauds sind sie wiederzuerkennen; sein Typus digestivus entspricht im wesentlichen dem pyknischen bzw. dem der Pflanzerrassen, sein Typus respiratorius dem leptosomen bzw. dem der Bewegungsrassen. Als unvermischte Bevölkerungen kommen diese Rassen in Europa mindestens seit der jüngeren Steinzeit nicht mehr vor; als Mischungsbestandteile sind sie aber noch in allen Bevölkerungen erhalten; und in manchen Bevölkerungsgruppen ist mehr die eine, in andern mehr die andere vertreten. In den Hochkulturen seit der jüngeren Steinzeit haben die auf Jagd und Krieg gezüchteten schlanken Rassen der ehemaligen

Jäger und Wanderhirten regelmäßig die Herrenschichten gestellt, denen die Organisation und die Verteidigung des Gemeinwesens oblag. Die auf Geduld und Ausdauer gezüchteten untersetzten Rassen der Pflanzer dagegen haben die abhängigen Schichten gestellt, denen die zur Gewinnung des Lebensunterhalts unerläßliche primitive körperliche Arbeit zufiel. Auch heute noch ist ein Zusammenhang zwischen den Körperbautypen und der seelischen Artung deutlich. Wenn trotz des Umstandes, daß der Typus der großen Rassen nicht als Einheit erblich ist, sondern auf einem Mosaik von Erbeinheiten beruht, in gemischten Bevölkerungen Beziehungen zwischen körperlichem und seelischem Typus bestehen, so darf man schließen, daß es Erbeinheiten gibt, von denen zugleich gewisse körperliche und gewisse seelische Eigenschaften abhängen. Es scheint eben auch heute noch ein Zusammenhang von Schlankheit und Schmalköpfigkeit mit Beweglichkeit und Drang in die Ferne einerseits, von untersetztem Bau und Breitköpfigkeit mit Behäbigkeit und Seßhaftigkeit andererseits zu bestehen. Die schlanken Formen finden sich stark in eingewanderten Bevölkerungen vertreten, z. B. unter den Amerikanern europäischer Abkunft, andererseits aber auch in den oberen sozialen Ständen, die eine Auslese regsamer Rasseelemente darstellen. Die untersetzten Formen dagegen wiegen in sog. Rückzugsgebieten (Gebirgen usw.) einerseits, in den unteren Ständen andererseits vor. Diese Erscheinungen lassen sich schwerlich durch direkte Wirkung der Umwelt erklären, wohl aber durch Auslese.

Die besprochenen Beziehungen zwischen Körperbau und seelischer Eigenart hängen sicher zum großen Teil mit Besonderheiten der inneren Sekretion zusammen, d. h. mit der Absonderung bestimmter chemischer Stoffe (der sog. Hormone) durch gewisse Organe wie die Schilddrüse, die Nebennieren, den Hirnanhang (die Hypophyse) und die Geschlechtsdrüsen (Gonaden). Das steht aber keineswegs mit der erblichen Bedingtheit der geschilderten Zusammenhänge in Widerspruch. Auch die Organe der inneren Sekretion sind ja in der Erbmasse angelegt. Die innere Sekretion ist ein Weg, auf dem die Erbmasse sich auswirkt, wie Morgan sich ausgedrückt hat.

Zurückblickend können wir sagen: Grundsätzlich sind direkte und indirekte körperliche Begabungs- und Charakterzeichen möglich. Die direkten sind durch dieselben Erbanlagen bedingt, von denen auch die entsprechenden seelischen Eigenschaften abhängen. Indirekte sind dadurch möglich, daß in einer bestimmten Umwelt oft zugleich mit gewissen seelischen Anlagen auch körperliche (aber ohne direkten Zusammenhang mit jenen) ausgelesen, beide also in gewissen geographischen Gebieten (oder auch gewissen sozialen Gruppen) gehäuft werden. Wenn man, wie oben dargelegt wurde, aus dem Vorhandensein von krausem Negerhaar schließen kann, daß auch die seelischen Eigenschaften eines Negers bei dem betreffenden Menschen vorhanden sein werden, so ist das ein Beispiel für einen solchen indirekten Zusammenhang; denn daß eine bestimmte seelische Eigenart direkt mit Kraushaar zusammenhängen sollte, kann als ausgeschlossen gelten.

Entsprechendes wie von den Begabungszeichen gilt auch von den sog. Entartungszeichen. Die Lehre von den Entartungszeichen hat sich im Anschluß an gewisse Vorstellungen des französischen Psychiaters Morel entwickelt, der um die Mitte des vorigen Jahrhunderts die Anschauung vertreten hat, daß gewisse Familien von einer langsam beginnenden, im Laufe einiger Generationen aber unaufhaltsam fortschreitenden geistigen Entartung befallen würden. Schließlich sollten die ent-

artenden Familien nur noch idiotische Nachkommen hervorbringen und damit aussterben. Entartungszeichen sollten demgemäß solche körperlichen Merkmale sein, an denen man die Träger einer derartigen geistigen Entartung erkennen könne. Die Entartungslehre Morels hat sich in dieser Form zwar nicht bewährt; wir verstehen unter Entartung heute nicht mehr ein unentrinnbar fortschreitendes Verhängnis, sondern einfach die Neuentstehung und Ausbreitung krankhafter Erbanlagen. Die Frage nach Entartungszeichen kann daher heute nur noch dahin gehen, ob man aus körperlichen Merkmalen auf geistige Minderwertigkeit ihrer Träger, speziell erblich bedingte, schließen kann. Solche Entartungszeichen gibt es zweifellos. Wir haben schon weiter oben gehört, daß Individuen mit abnorm kleinem Kopf (Mikrokephale) regelmäßig geistesschwach sind. Der Zusammenhang braucht allerdings nicht in jedem Falle in der Erbmasse begründet zu liegen. Auch durch angeborene Syphilis, die ja mit Erblichkeit im eigentlichen Sinne nichts zu tun hat, kann die Entwicklung einer menschlichen Frucht so stark gehemmt werden, daß der Kopf nicht normale Größe erreicht und das Kind auch geistig auf der Stufe des Idioten stehen bleibt. In diesem Falle würde die Kleinköpfigkeit nicht eigentlich ein Entartungszeichen sein, da es sich ja nicht um ererbte Minderwertigkeit, sondern um eine durch einen Umwelteinfluß, nämlich die Ansteckung mit dem Syphiliserreger, hervorgerufene handelt. Aber es gibt auch echt erbliche Kleinköpfigkeit (Mikrokephalie), die mit Schwachsinn einhergeht; und in diesem Falle ist die Kleinköpfigkeit ein direktes Entartungszeichen, das durch dieselbe Erbanlage wie die Geistesschwäche bedingt ist. Auch der Laie hat eine ungefähre Vorstellung davon, wie ein Idiot aussieht, erst recht der Karikaturenzeichner. Auch Geisteskrankheiten und leichtere geistige Anomalien (Psychopathien) äußern sich gewöhnlich schon in der körperlichen Erscheinung, und zwar nicht nur in Zeichen, die als Folgen der geistigen Störung zu betrachten sind (Mienenspiel u. a.), sondern, was sehr merkwürdig ist, bis zu einem gewissen Grade auch im Körperbau. Es ist zwar nicht möglich, in jedem einzelnen Fall aus der äußeren Erscheinung eines Menschen die Art seiner Geistesstörung zu erkennen; wenn aber die verschiedenen Geisteskranken einer Anstalt gruppenweise gesondert würden, so würde kein erfahrener Arzt im Zweifel sein, welches die Gruppe der Schizophrenen, der Manisch-Melancholischen, der Epileptiker, der Idioten sei. Entsprechendes gilt auch von den Schwerverbrechern. Verbrecher aus Anlage sind ja in der Regel auch sonst geistig minderwertig (psychopathisch). „Niemand wird sich dem überwältigenden Eindrucke entziehen können, den der gleichzeitige Anblick einer größeren Anzahl von Zuchthausgefangenen darbietet." So sagt der erfahrene Irrenarzt Kraepelin.

Es gibt also Entartungszeichen, wenn man sich auch nicht in jedem einzelnen Falle darauf verlassen kann. Und außer den direkten Entartungszeichen, die von derselben Erbanlage abhängen wie die geistige Minderwertigkeit, sind grundsätzlich auch indirekte möglich. Die indirekten Entartungszeichen beruhen ebenso wie die indirekten Begabungszeichen auf der Häufung verschiedener Erbanlagen in bestimmten Bevölkerungsgruppen, nur in diesem Falle eben ungünstiger Erbanlagen. Diese Häufung kommt dadurch zustande, daß Individuen, die in irgendeiner Hinsicht minderwertig sind, meist keine vollwertigen, sondern ebenfalls nur minderwertige Ehegatten bekommen. So häufen sich körperliche Fehler oder Mißbildungen einerseits, geistige Störungen und Anomalien andererseits in gewissen Sippen an. In der

rassenhygienischen Literatur sind eine ganze Anzahl derartiger minderwertiger Verwandtschaftskreise beschrieben worden. Da auf diese Weise auch in den gleichen Personen körperliche und geistige Minderwertigkeiten verschiedener Art kombiniert werden, so kommt es, daß man aus der Häufung körperlicher Mängel bei einem Menschen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auch dann auf geistige Minderwertigkeit schließen kann, wenn die einzelnen körperlichen Mängel nicht von denselben Erbanlagen wie die geistigen abhängig sind, wenn also kein direkter, sondern nur ein durch Auslese bedingter Zusammenhang besteht. Darauf beruhen die indirekten Entartungszeichen.

Nachdem wir bisher die Möglichkeiten betrachtet haben, wie die Anthropologie zur Beurteilung von Menschen beitragen, wie also die Menschenkunde zur Menschenkenntnis führen kann, wollen wir nunmehr die wichtigsten Gebiete praktischer Anwendung der anthropologischen Menschenbeurteilung besprechen. Sehr wertvoll kann die menschliche Genetik für die ärztliche Erkenntnis und das ärztliche Handeln werden. Da indessen dieses Buch nicht für Ärzte, sondern für Gebildete aller Berufe bestimmt ist, kann ich nicht näher darauf eingehen. Ich sehe daher auch von einer Besprechung der einzelnen erblichen Krankheiten ab. Dagegen möchte ich die Bedeutung der anthropologischen Erkenntnisse für die Fragen der Ehewahl bzw. Eheberatung etwas genauer besprechen, da das Glück und der Erfolg der Ehen durch Dinge, die der anthropologischen Beurteilung zugänglich sind, sehr wesentlich mitbedingt wird und da die Frage der Ehe für das Leben fast jedes Menschen von der allereinschneidendsten Bedeutung ist, selbst für jene, die aus irgendeinem Grunde schließlich ehelos bleiben.

Die Frage der Ehewahl und Eheberatung soll hier nur soweit besprochen werden, als anthropologische Gesichtspunkte, d. h. solche der menschlichen Genetik, dafür von Bedeutung sind. Die ärztliche Eheberatung muß noch mancherlei anderes, das nicht minder wichtig ist, berücksichtigen, vor allem die sog. Geschlechtskrankheiten (Syphilis und Gonorrhoe), die Varianten der geschlechtlichen Triebe in ihrer unmittelbaren Bedeutung für die Ehe und anderes mehr. Auch die Besprechung der einzelnen erblichen Krankheiten, die einen Gegengrund gegen die Ehe bilden, muß der ärztlichen Eheberatung vorbehalten bleiben. Seit dem Jahre 1926 sind in einer großen Anzahl deutscher Städte öffentliche Eheberatungsstellen eingerichtet worden, wo heiratslustige sachverständige ärztliche Beratung finden können; es ist zu hoffen, daß in den nächsten Jahren solche Eheberatungsstellen in allen größeren Städten und Bezirken des Reichs eingerichtet werden. Die Ehekandidaten selber können sich in der Regel über ihre Tauglichkeit zur Ehe und über die Gefahr des Auftretens erblicher Krankheiten oder sonst unerwünschter Eigenschaften bei den zu erwartenden Kindern kein zuverlässiges Urteil bilden. Es ist daher anzustreben, daß die jungen Leute beiderlei Geschlechts vor der Eheschließung die Beratung durch einen sachverständigen Arzt in Anspruch nehmen und zwar vor ihrer Verlobung, ja schon bevor überhaupt die Eheschließung mit einer bestimmten Person in Aussicht genommen ist. Wenn nämlich erst eine starke Liebe oder auch nur Verliebtheit eingetreten ist, so sind die Liebesleute vernünftigen Erwägungen nur noch wenig oder gar nicht zugänglich. Andererseits dagegen ist gar nicht zu bezweifeln, daß die Kenntnis ungünstiger Tatsachen vor dem Sichverlieben weitgehend schützen, die Kenntnis

günstiger stark dazu beitragen kann, wenn auch diese Dinge im wesentlichen nur unterbewußt wirksam sind, wie ja überhaupt die Liebe ihre Wurzeln im Unbewußten hat. Der gesunde Instinkt bewahrt in der Regel ein Mädchen davor, sich in einen Mann zu verlieben, von dem es weiß, daß er krank oder daß er aus andern Gründen kein geeigneter Vater ist für die Kinder, die sie sich wünscht; und Entsprechendes gilt auch für die Liebe des Mannes. In erhöhtem Maße wird das der Fall sein, wenn die Bedeutung der Gesundheit und eines tüchtigen Erbguts so gewürdigt wird, wie sie es verdient, was bisher noch längst nicht der Fall ist. Durch geeignete Aufklärung und Erziehung der Jugend ließe sich in dieser Hinsicht sicher nicht wenig erreichen.

Es ist ein Gebot der Rassenhygiene, daß nicht nur Geschlechtskranke, Schwindsüchtige und Geisteskranke auf die Ehe verzichten, sondern auch alle mit ernstlichen erblichen Leiden behafteten Personen. Andererseits dürfen die Bedenken freilich auch nicht zu weit gehen. Irgendwelche Mängel der Erbmasse sind fast in jeder Familie vorhanden; dabei kann aber der Hauptteil der Erbanlagen durchaus erhaltungswert sein. Das rassenhygienische Verantwortungsgefühl darf also nicht dahin übertrieben werden, daß gerade gewissenhafte und vorsorgliche Menschen wegen leichter wirklicher oder vermeintlicher Mängel ledig bleiben, während die Leichtsinnigen und Gewissenlosen sich vermehren. Zumal hochbegabte Männer, die wirklich tüchtige Leistungen aufzuweisen haben, sollten nicht um einzelner Mängel willen auf die Ehe verzichten. Ein erbliches Leiden ist meist nur durch eine einzige krankhafte Erbeinheit bedingt, hohe Begabung dagegen durch viele wertvolle Erbeinheiten; und es ist natürlich nicht berechtigt, viele tüchtige Erbanlagen um einer untüchtigen willen zu opfern. In solchen Fällen sollte der Rat eines sachverständigen Arztes eingeholt werden, der auf dem Gebiet der menschlichen Erblichkeitslehre gut beschlagen ist, was leider bisher von den meisten Ärzten nicht gilt.

Wichtiger als den Kranken die Pflicht zur Ehelosigkeit einzuschärfen, ist es, die Gesunden vor der Eheschließung mit Kranken zu warnen. Schwindsüchtige neigen immer wieder dazu, ihren Zustand zu günstig einzuschätzen. Viele Psychopathen erkennen ihre Seelenverfassung überhaupt nicht als krankhaft, sondern halten sich im Gegenteil oft gerade für besonders hervorragende Exemplare. Einen ärztlichen Eheberater kann im allgemeinen jeder auch nur für sich selbst in Anspruch nehmen, wenigstens solange er noch nicht verlobt oder stark verliebt ist; und dann ist es meist zu spät. Es seien hier daher in erster Linie Anhaltspunkte zur Beurteilung des Ehewertes anderer Personen gegeben. Gesichtspunkte zur Beurteilung eines Menschen im allgemeinen wurden ja schon weiter oben gegeben. Besonders verhängnisvoll für das Glück einer Ehe kann psychopathische, z. B. hysterische Veranlagung werden, und etwa 10% aller Menschen sind als Psychopathen anzusehen. Dem Nichtarzt ist es leider nur schwer oder gar nicht möglich, die psychopathische Veranlagung eines Menschen ohne längeres Zusammenleben zu erkennen, zumal da hysterisch veranlagte Individuen beiderlei Geschlechts es oft meisterhaft verstehen, sich mit dem Nimbus besonderer Begabung oder besonderer Tüchtigkeit zu umgeben. Wertvolle Anhaltspunkte kann das Leben in der elterlichen Familie geben. Mädchen, die dort in ihrem wahren Werte „verkannt" werden, werden später meist auch nur „unverstandene" Frauen. Die unglückliche Ehe ist erblich.

Es gibt ein norwegisches Sprichwort, man solle nicht ein Mädchen heiraten, die der einzige nette Mensch in ihrer Familie sei. Andererseits soll man die bloße „Belastung" mit erblichen Leiden auch nicht überschätzen. Wenn z. B. ein Fall von Geisteskrankheit oder von einem sonstigen erblichen Leiden bei den Eltern vorgekommen ist, so ist das nur in dem Falle von ernster Bedeutung, wenn es sich um ein Leiden handelt, das erst so spät auszubrechen pflegt, daß es auch bei dem Mädchen bzw. dem jungen Mann noch auftreten könnte. Erbliche Leiden, die sich von Geburt an äußern, wie die erbliche Taubstummheit, haben geringere Belastungsbedeutung. Wenn dagegen mehrere Fälle eines erblichen Leidens in der näheren Verwandtschaft vorgekommen sind, so ist das nicht unbedenklich für die zu erwartende Nachkommenschaft. Im allgemeinen ist die persönliche Beschaffenheit eines Menschen natürlich auch für die Vererbungsaussichten viel bedeutungsvoller, als die Beschaffenheit einzelner Verwandten. Eine Ausnahme bilden die sog. geschlechtsgebundenen Leiden, wie die Bluterkrankheit oder die erbliche Sehnervverödung. Diese werden in der Regel durch Frauen, die selbst frei davon sind, weiter vererbt. Wenn also z. B. der Vater eines Mädchens infolge Sehnervverödung erblindet ist, so muß man damit rechnen, daß auch der eine oder der andere ihrer Söhne auf dieselbe Weise erblinden wird.

Der Erbwert eines Menschen hängt nicht nur von den Anlagen ab, die an ihm selber in die Erscheinung treten, sondern auch von jenen, die in der Familie überhaupt vorhanden sind. Das darf aber nicht zu einer Überschätzung der Bedeutung der Verwandtschaft führen. Der Umstand, daß jemand der Sohn eines bedeutenden Mannes ist, genügt noch nicht, um seinen Erbwert zu garantieren. Größere Bedeutung hat es natürlich schon, wenn beide Eltern und alle vier Großeltern hervorragend tüchtige Menschen waren. Niemals aber dürfen die Anlagen der Familie bei einem Menschen höher bewertet werden als seine eigenen. Auch in sehr tüchtigen Familien können eben einzelne mißratene Glieder vorkommen. Vom Standpunkte angewandter Anthropologie ist daher nur ein solcher Adel berechtigt, der sich in jeder Generation neu bewährt. Zwar stellt auch der historisch gewordene Adel im Durchschnitt eine Auslese tüchtiger Menschen dar; aber man muß doch bedenken, daß die Erhebung in den Adelsstand früher oft auf Grund von Leistungen erfolgt ist, die unter dem Gesichtspunkt der Kultur nicht besonders hoch zu bewerten sind; und je weiter die Leistung zurückliegt, desto weniger Gewähr bietet sie für das Erbgut der gegenwärtig lebenden Nachkommen. Galton, der große Begründer der modernen Rassenhygiene, hat daher nicht ohne Grund gesagt, ein Adel sei um so weniger wert, je älter er sei.

Die Belastung mit erblichen Leiden anderer Familienmitglieder hat eine besondere Bedeutung im Falle der Verwandtenehe. Bei völlig gesunder Erbmasse ist die Verwandtenehe nicht schädlich; leider aber kann man niemals garantieren, daß in der Erbmasse einer Familie nicht rezessive krankhafte Anlagen vorhanden seien. Rezessive Erbanlagen sind solche, die sich, wenn sie einzeln vorhanden sind, nicht äußern, sondern von der entsprechenden gesunden Erbanlage vom andern Elter her überdeckt werden. Wenn aber in beiden elterlichen Familien die gleiche rezessive Erbanlage vorhanden ist, so können in den Kindern zwei gleichartige Anlagen zusammentreffen und damit in die Erscheinung treten. In der Möglichkeit des Zu-

sammentreffens gleichartiger krankhafter Erbanlagen und damit des Auftretens erblicher Leiden bei den Kindern besteht überhaupt die Gefahr der Verwandtenehe. Ein derartiges rezessives Leiden ist z. B. die erbliche Taubstummheit; daher stammen rund ein Drittel aller Kinder mit angeborener Taubstummheit aus Verwandtenehen. Umgekehrt gehen allerdings nur aus einem Teil aller Verwandtenehen minderwertige Kinder hervor. Wie groß dieser Teil ist, ist leider nur sehr unvollkommen bekannt. Nach einer älteren Erhebung von Bemiss gingen aus 833 Verwandtenehen 7,8% schwachsinnige Kinder hervor, aus 125 andern Ehen nur 0,7%. Wenn auch in diesem Material die Gefahr der Erzeugung minderwertiger Kinder in Verwandtenehen zehnmal so groß wie in andern Ehen war, so ist sie im allgemeinen doch nicht so überwiegend, daß man jede Verwandtenehe für unzulässig erklären müßte. Die Jugend sollte in der Anschauung aufwachsen, daß Verwandtenehen nicht gut sind. Wenn aber eine Verwandtenehe erst einmal in Aussicht genommen ist, so pflege ich nur dann noch abzuraten, wenn eine stärkere Belastung mit erblichen Leiden vorliegt. Unbedingt zu widerraten ist eine Verwandtenehe, wenn in beiden Familien dasselbe erbliche Leiden vorgekommen ist.

Auch die Mischehe zwischen stark verschiedenen Rassen kann im allgemeinen nicht gebilligt werden. Ganz besonders gilt das von Ehen zwischen Negern und Weißen, aber auch zwischen Ostasiaten und Europäern. Sogar Ehen zwischen Nord- und Südeuropäern sind nicht ganz unbedenklich. Zwar hat es den Anschein, daß aus der Mischung von nord- und südeuropäischen Rassenelementen gelegentlich besonders günstige Kombinationen hervorgehen können; aber die Möglichkeit, daß die Mehrzahl solcher Mischungskombinationen gleichwohl ungünstig ausfällt, läßt sich keineswegs ausschließen. Daß die Ehe innerhalb derselben Rasse keine schädlichen Folgen hat, wissen wir sicher, die Folgen der Rassenmischung dagegen sind nur unvollkommen bekannt. Also ist Vorsicht geboten.

Gegen Ehen zwischen verschiedenen äußeren Typen innerhalb unserer Bevölkerung ist dagegen wohl nichts einzuwenden, wie auch andererseits selbstverständlich nichts dagegen zu sagen ist, daß Menschen von nordischem Typus ebensolche Ehegatten wählen.

Hier ist noch einmal an das zu erinnern, was weiter oben über die Bedeutung äußerer Rassenmerkmale ausgeführt wurde. Von der Frage der Mischehe als solcher ist die des Eindringens fremder Rassenelemente zu scheiden. Wenn durch Mischehen Negerblut in eine weiße Bevölkerung eindringt, so ist das auf keinen Fall wünschenswert. Daher ist in den meisten Staaten der nordamerikanischen Union die Mischehe mit Farbigen gesetzlich verboten; und zu den Farbigen werden folgerichtig auch die Mischlinge gerechnet; denn würde man die Mischehe mit diesen freigeben, so wäre dem Eindringen von Negerblut in die weiße Bevölkerung Tür und Tor geöffnet und die Grenzlinie der Farben (color line) nicht zu halten. Von den europäischen Ländern ist gegenwärtig hauptsächlich Frankreich durch das Einsickern von Negerblut bedroht. Da dort ein Verbot von Mischehen nicht besteht, so dringt mit der Einwanderung farbiger Elemente deren Blut ohne weiteres in den Volkskörper ein. In Holland findet leider in nicht ganz geringem Ausmaß ein Einsickern malayischen Blutes durch Mischehen, die in Inselindien geschlossen werden, statt.

Bei uns kommt praktisch hauptsächlich die Mischehe zwischen Germanen und Juden in Betracht. Die germanisch-jüdische Mischehe widerstreitet sowohl dem Interesse des Germanentums als auch dem des Judentums. Wenn jenen, die im Liebesrausch oder auch in kühler Berechnung zu einer Mischehe schreiten, alle die bitteren Stunden, welche ihren Nachkommen bevorstehen, vor Augen stehen würden, so würden die meisten noch umkehren, ehe es zu spät ist. An und für sich wäre es wohl kein Unglück, wenn die 1% Juden in Deutschland von der übrigen deutschen Bevölkerung aufgesogen würden. Eine gleichmäßige Aufsaugung kommt aber leider nicht in Frage, weil Mischehen fast nur in den oberen Ständen vorkommen, oder mit anderen Worten, weil einige wenige Prozent der führenden Schichten unseres Volkes das eine Prozent Juden aufnehmen müßten; und das würde denn doch eine starke Beeinträchtigung der germanischen Wesensart unserer führenden Schicht bedeuten. Und damit wäre die Sache noch nicht einmal abgetan; vielmehr würden aus dem Osten bald neue Juden nachwandern und die Stelle der aufgesogenen einnehmen. Im Laufe der Generationen würde also bei schrankenloser Mischehe die ganze Oberschicht verjuden.

Mit der Frage der Rassenmischung hängt der Aberglaube der sog. „Telegonie", der Nachwirkung früherer Befruchtungen, zusammen. So soll eine Hündin von edler Rasse, die einmal von einem unedlen Köter befruchtet worden ist, in Zukunft auch von keinem Hunde ihrer eigenen Rasse mehr reinrassige Nachkommen bekommen können. In einem antisemitischen Tendenzroman (Dinter „Die Sünde wider das Blut") ist dieser Aberglaube auf die Judenfrage übertragen worden. Es wird darin behauptet, daß zahlreiche deutsche Mädchen von Juden verführt würden und daß sie später auch in der Ehe mit Nichtjuden Kinder mit jüdischen Erbanlagen zur Welt brächten. Für das Vorkommen einer „Telegonie" gibt es indessen keine soliden Belege. Wissenschaftliche Tierversuche haben niemals auch nur eine Spur davon gezeigt. Das heißt natürlich nicht, daß der Verkehr germanischer Mädchen mit jüdischen Männern harmlos sei; aber es sind eben andere Gründe, aus denen er zu mißbilligen ist.

Die peinlichen Folgen der Mischehe für die Nachkommen sind zum großen Teil nicht direkt biologisch, sondern gesellschaftlich bedingt, indem die Mischlinge gesellschaftlich als nicht vollwertig angesehen zu werden pflegen. Da diese gesellschaftliche Wertung dem Eindringen fremder Rassenelemente bis zu einem gewissen Grade entgegenwirkt, läßt sie sich vom Standpunkte angewandter Anthropologie rechtfertigen. Es ist wie bei vielen andern moralischen Wertungen: man hat oft Anlaß, einzelne Menschen, die darunter leiden, zu bedauern; unser Urteil über eine moralische Satzung darf sich aber nicht auf Einzelfälle, sondern nur auf die Gesamtwirkung gründen. Mit Rücksicht auf die gesellschaftlichen Folgen muß übrigens nicht nur vor Mischehen zwischen Menschen verschiedener Rassen, sondern auch zwischen Menschen verschiedener Religion und stark verschiedenen Standes gewarnt werden. Dabei ist auch zu berücksichtigen, daß Unterschiede der Religion und des Standes meist mit Rassenunterschieden, d. h. Unterschieden der erblichen Wesensart Hand in Hand gehen. Ehen zwischen Menschen stark verschiedener Wesensart, Bildung und Weltanschauung pflegen auf die Dauer nicht glücklich zu sein.

Zugunsten der Mischehe wird öfter ins Feld geführt, daß sie der „Inzucht" entgegenwirke. Nun ist aber Inzucht in den Grenzen, wie sie beim Menschen vorkommt, sicher nicht schädlich. Miß King hat Ratten durch 25 Generationen in Inzucht weitergezüchtet, Castle Obstfliegen (Drosophila) durch 59 Generationen, ohne daß schädliche Folgen aufgetreten wären. Beim Menschen ist relativ enge Inzucht durch mehrere Generationen von den Herrscherfamilien der Ptolomäer und der Inkas berichtet worden; üble Folgen haben sich nicht gezeigt. Völlig abwegig ist die Ansicht, daß erbliche Leiden beim Menschen in ihrer Entstehung auf Inzucht zurückzuführen seien und daß sie durch Auftreuzung mit gesunden Familien beseitigt werden könnten. Die wirklich gesunden und volltüchtigen Familien sind zu schade für die Vermischung mit kranken. Eine Ausnahme kann nur in dem Falle zugestanden werden, wo eine wirklich hervorragende Begabung mit einer leichteren krankhaften Veranlagung vereinigt ist. In diesem Falle dient die Verbindung mit einem körperlich besonders gesunden und kräftigen Gatten der Erhaltung der hohen Begabung.

Mit Rücksicht auf irrige landläufige Ansichten sei ausdrücklich betont, daß die Liebe als solche keineswegs eine günstige Beschaffenheit der Kinder verbürgt. Wenn zwei Menschen Kinder miteinander erzeugen, so sind die Aussichten für die Veranlagung der Kinder durch die Möglichkeiten bestimmt, die die beiden Erbmassen bieten. Ob die beiden Eltern sich lieben oder nicht, macht dagegen hinsichtlich dieser Aussichten keinen Unterschied. Wie die Erfahrung zeigt, ist leidenschaftliche Liebe nur ein vorübergehender Zustand; sie pflegt daher auch in der Ehe bald zu schwinden; die späteren Kinder aber haben darum keine schlechteren Aussichten hinsichtlich ihrer Veranlagung als die ersten. Ich will gewiß nichts gegen die große Liebe sagen, aber wenn man nur den heiraten dürfte, den man am meisten liebt, so würden nur sehr wenige Menschen überhaupt heiraten können, sicher keine 10%. Selbstverständlich ist die große Liebe auch kein Gegengrund gegen die Ehe; aber Liebe im Sinne der herzlichen Zuneigung, die auch vor den Fehlern des Andern die Augen nicht verschließt, ist eine solidere Grundlage dafür; und diese Liebe verträgt sich durchaus mit einer vorsichtigen und vernünftigen Ehewahl, bei der Gesundheit und Rasse, Abstammung und Begabung, Einkommen und Besitz, Bildung und gesellschaftliche Stellung gebührend berücksichtigt werden. Gewiß hat auch die Liebe eine züchtende Wirkung; sie wäre sonst nicht in die Welt gekommen; aber sie ist nicht im Einzelfall unfehlbar. Im allgemeinen dagegen sind jene Eigenschaften, durch die Liebe hervorgerufen zu werden pflegt, auch von Wert für die Rasse. Schönheit ist ein Gesundheits- und Begabungszeichen, wenn auch kein sicheres, Häßlichkeit ein Entartungszeichen. Dort hat die tiefe Sehnsucht nach Schönheit, die den Menschen erfüllt, ihre biologische Wurzel. Die Liebesehe wird gewöhnlich in Gegensatz zur „Vernunftehe" gestellt, wobei unter dieser eine Verbindung um des Geldes willen verstanden zu werden pflegt. An und für sich wäre ein solcher Gegensatz durchaus nicht nötig. Im Gegenteil, wie die Erfahrung zeigt, richtet sich auch die echte Liebe mit Vorliebe auf wirtschaftlich und gesellschaftlich gutgestellte Menschen. Diese Dinge wirken offenbar im Unterbewußten ähnlich, wie es oben schon von der Gesundheit erwähnt wurde. Einem reichen Mädchen fällt es im allgemeinen gar nicht ein, sich unter ihrem Stande zu verlieben. Eben darum aber müssen bei einer Geldheirat in der Regel körperliche oder geistige Mängel in Kauf genommen werden; und darum

bietet die sogenannte „Vernunftehe" in der Regel auch keine guten Aussichten für die Kinder. An und für sich aber ist nicht das Mindeste gegen eine starke Bewertung der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Lage bei der Ehewahl zu sagen. Da die Erringung und Behauptung einer höheren Stellung im allgemeinen auch günstige Erbqualitäten erfordert, so ist damit zugleich auch eine gewisse Gewähr in anthropologischer Beziehung gegeben. Im allgemeinen ist es das Beste, wenn die beiden Ehegatten auch in dieser Hinsicht etwa in gleicher Lage sind. Die Erkenntnis, daß der Wert eines Menschen in allererster Linie in seinen Erbanlagen begründet liegt, kann praktisch allerdings nicht ohne eine entsprechend geringere Bewertung der äußeren Dinge für die Ehewahl von Bedeutung werden. Es besteht die Gefahr, daß gerade bei hochgearteten Mädchen die anthropologische Erkenntnis zu einer weiteren Überspannung der Ansprüche führt und daß sie dann schließlich überhaupt keinen Mann finden, der ihnen genügt. Für den jungen Mann besteht diese Gefahr kaum, da mit dem Hinausschieben der Ehewahl um ein paar Jahre seine Aussichten auf eine hochwertige Frau im allgemeinen nur besser werden. Wenn ein Mädchen aber auch nur wenige Jahre infolge Überspannung ihrer Ansprüche verliert, so kann sie am Ende der zwanziger Jahre meist nicht mehr einen ebenso hochwertigen Mann bekommen wie fünf oder zehn Jahre früher. Das ist ein Hauptgrund, weshalb heute leider gerade so viele hochwertige Mädchen ehelos bleiben. Dem kann nur dadurch vorgebeugt werden, daß aus der anthropologischen Einsicht auch rechtzeitig die Folgerung gezogen wird, daß es auf die äußeren Dinge weniger ankommt; und daß diese Einsicht bis ins Unbewußte und Instinktive dringt. Mit Rücksicht auf die herrschenden Wertungen, die besonders auf das weibliche Geschlecht einen Einfluß ausüben, dem sich der Einzelne kaum entziehen kann, ist das freilich nicht leicht.

Nach allem, was wir über die Gesetze der Erblichkeit wissen, hat das Alter der Eltern als solches keinen Einfluß auf die Beschaffenheit der Kinder. Es ist zwar eine verbreitete Ansicht, daß Kinder geistig gereifter Menschen ein besseres geistiges Erbgut mitbekämen als solche ganz junger Eltern. Diese Ansicht setzt indessen eine „Vererbung erworbener Eigenschaften" voraus, für welche es durchaus an Unterlagen fehlt. Erworbene Bildung und Lebenserfahrung wird nicht vererbt. Wenn die Kinder gebildeter Eltern im Durchschnitt begabter sind als die ungebildeter, so sind sie es nicht infolge der Ausbildung der Eltern, sondern weil sie von diesen Erbanlagen überkommen haben, die schon die Eltern zur Aneignung höherer Bildung befähigten. In Zeitungsartikeln aus weiblicher Feder werden nicht selten die Mädchen der guten alten Zeit bemitleidet, die mit 17 oder 18 Jahren heirateten und dann ein Kind nach dem andern bekamen. Daß schriftstellernde Damen auf so jung heiratende Mädchen nicht gut zu sprechen sind, ist verständlich; wenn die Mädchen sich aber einreden lassen, daß sie erst geistig etwas leisten und „etwas vom Leben haben" müßten, bevor sie heiraten würden, so kann ihnen das direkt zum Verhängnis werden, denn mit 30 Jahren haben sie eben nur noch viel geringere Aussichten auf eine angemessene Ehe als mit zwanzig. Biologisch ist die Hinausschiebung der Ehe auf keinen Fall zu rechtfertigen. Dem jungen Mann der geistigen Berufe kann man, so wie die Dinge heute liegen, leider nicht zu früher Heirat raten. Wenn er sonst tüchtig ist, so wachsen seine Aussichten, eine hochwertige

Frau zu bekommen im gleichen Grade, wie es ihm gelingt, eine Lebensstellung zu erringen. Daher ist es auch nicht gut, wenn beide Ehegatten gleich alt, oder gar, wenn die Frau älter ist. Wenn ein Mann der gebildeten Stände mit 30 oder 40 Jahren heiratet, so sollte die Frau mindestens 5 oder 10 Jahre jünger sein; und 10 oder 15 wird im allgemeinen auch nicht zu viel sein. Männer, die erst mit 40 Jahren oder darüber heiraten, haben freilich zum größten Teil eine oder mehrere Ansteckungen mit Geschlechtskrankheiten durchgemacht; außerdem sind sie meist viele Jahre lang dem Mißbrauch von Alkohol und Nikotin ausgesetzt gewesen. Jedenfalls liegt es aber nicht am Alter als solchem, wenn die Kinder älterer Männer öfter nicht gesund sind, oder wenn in ihren Ehen Kinder überhaupt ausbleiben.

Die Rücksicht auf die voraussichtliche Beschaffenheit der Kinder spielt bei der Ehewahl leider nicht die überragende Rolle, die ihr eigentlich gebührt. Ich meine hier noch gar nicht das Interesse der Rasse an tüchtigen Kindern, möchte vielmehr betonen, daß auch für den Einzelnen, ganz besonders für die Frau, in gesunden, blühenden Kindern die höchste Möglichkeit dauernden Glückes liegt. Eine Frau, die keine Kinder hat, findet überhaupt nicht die höchste Erfüllung ihres Lebens. Und wenn sie kranke oder mißratene Kinder hat, so ist das das schwerste Schicksal, das eine Frau treffen kann. Die Rücksicht auf die zu erwartenden Kinder sollte daher bei der Ehewahl allen andern Rücksichten, seien sie wirtschaftlicher, gesellschaftlicher oder persönlicher Art, vorgehen. Öfter wird der Fall eintreten, daß der eine Teil erst während der Verlobungszeit von einem erblichen Leiden des andern erfährt. Mir ist ein Fall in lebhafter Erinnerung, wo sich erst nach der Verlobung herausstellte, daß die Braut an epileptischen Anfällen litt. Der Mann hat das Verlöbnis mit Rücksicht auf das Schicksal der Kinder gelöst; und er hat recht daran getan, obwohl die Braut und ihre Angehörigen sein Vorgehen als herzlos empfanden und es nicht begreifen konnten, daß er das hilfsbedürftige Mädchen verließ.

Die Ehewahl ist die einzige Gelegenheit, bei der der Mensch einen bestimmenden Einfluß auf die Beschaffenheit seiner zukünftigen Kinder nehmen kann. Die Erbmasse der Kinder stammt ja nur zur Hälfte von ihm selber, zur andern Hälfte dagegen von dem andern Eheteil. Daher hat jeder Mensch es bis zu einem gewissen Grade in seiner Macht, die Erbmasse seiner künftigen Kinder durch eine geeignete Ehewahl günstig zu beeinflussen. Wenn die Ehe einmal geschlossen und damit das Erbgut, aus dem die Anlagen der Kinder stammen, festgelegt ist, gibt es eine solche Möglichkeit nicht mehr. Nur negativ kann dann noch manches geschehen, um die Erbmasse bzw. die werdenden Kinder vor Schädigungen zu bewahren. Praktisch ist vor allem die Vermeidung unmäßigen Trinkens und Rauchens wichtig; am besten wäre natürlich völlige Enthaltsamkeit von Alkohol und Tabak. Besonders zerstörend scheinen Röntgenstrahlen auf die Erbmasse zu wirken, wie die Forschungen von Muller zeigen. Da zahlreiche Ärzte, Physiker und Techniker heute mit Röntgenstrahlen arbeiten, ist das zu wissen wichtig.

Eine positive Beeinflussung der Anlagen des werdenden Kindes im günstigen Sinne liegt nicht in menschlicher Macht. Alle Hoffnungen, die sich auf die Annahme einer Vererbung erworbener Eigenschaften gründeten, sind mit dieser Annahme hinfällig. Nicht selten wird hoffenden Müttern empfohlen, fleißig schöne Bilder oder Statuen anzusehen, weil sie dann auch schönere Kinder bekommen würden.

Das ist indessen reiner Aberglaube. Auch ein „Versehen" der Mutter an häßlichen Menschen, Tieren oder Dingen hat keinen Einfluß auf die Kinder. In dieser Hinsicht ist auch die moderne Kunst unschädlich. Neuerdings werden auch besondere Mittel empfohlen, welche auf die Gesundheit und Schönheit der zu erwartenden Kinder günstig wirken sollen. Sie sind natürlich wirkungslos. Zweckmäßige Ernährung, die aber nicht gleichbedeutend mit Mast ist, und reichliche, aber nicht übermäßige Bewegung sind der Gesundheit der Mutter natürlich zuträglich; die Erbmasse des Kindes bleibt aber auch davon unberührt.

Ein Weg, der zur Erzeugung von Kindern guter Qualität offen steht, geht über die Quantität. Wenn Eltern nur ein oder zwei Kinder aufziehen, dürfen sie nicht erwarten, daß in diesen die beiderseitigen Erbanlagen sich gerade günstiger zusammenfügen werden als in ihnen selber; wohl aber dürfen sie das von einzelnen Kindern unter einer größeren Zahl erhoffen. Gerade hochbegabte Familien, denen an der Erhaltung ihrer Begabung liegt, haben daher allen Grund, ihre Kinderzahl nicht zu sehr zu beschränken. Die Wahrscheinlichkeit der Geburt hochbegabter Kinder wächst im gleichen Verhältnis mit der Zahl der Kinder.

In weiten Kreisen ist die Ansicht verbreitet, daß zwei Kinder zur Erhaltung der Familie im Durchschnitt ausreichend seien. Eine einfache Überlegung zeigt indessen, daß diese Ansicht irrig ist. Ein Teil der Kinder stirbt vor Erreichung des Fortpflanzungsalters und ein weiterer Teil bleibt erfahrungsgemäß ehelos. Wenn man diesen Ausfall gemäß den tatsächlichen Verhältnissen berücksichtigt, so zeigt sich, daß erst ungefähr 3,1 Kinder im Durchschnitt zur Erhaltung der Familien ausreichend sind. Kriegsverluste sind dabei noch nicht einmal gerechnet. Gegenwärtig nach dem Weltkriege würde die Zahl etwa 3,4 betragen. Bei allgemeinem Zweikindersystem dagegen schmilzt ein Kreis von Familien in einem Jahrhundert bereits auf ein Drittel zusammen. Noch weniger als das Zweikindersystem ist natürlich das System eines „Stammhalters" zur Erhaltung einer Familie geeignet. Dabei wollen die meisten Familien, die ihre Kinderzahl derartig einschränken, gar nicht aussterben; sie sind sich nur über die Folgen ihres Tuns nicht klar. Es ist daher eine Aufgabe angewandter Anthropologie, hier aufklärend zu wirken. Jedes gesunde Ehepaar, dem etwas an der Erhaltung des Stammes liegt, sollte alles daran setzen, mindestens 3 Kinder aufzuziehen. Darüber hinaus aber sollten alle Eltern, deren erste Kinder gut gedeihen, so viele weitere aufziehen, als mit ihrer wirtschaftlichen Lage irgend vereinbar ist. Das liegt im wohlverstandenen Glücksinteresse der Eltern selber. Man hört vielfach die Regel aussprechen, niemand solle mehr Kinder in die Welt setzen, als er versorgen könne. Diese Regel ist an und für sich nicht schlecht, nur sollte sie besser positiv dahin formuliert werden, daß jeder gesunde Mensch so viele Kinder aufziehen solle, als er versorgen könne. Das besagt dem Wortsinn nach kaum etwas anderes; aber es bringt die wirtschaftliche Überlegung in das Licht einer lebensfreundlicheren Wertung; und es ist zu hoffen, daß der Begriff des Versorgenkönnens dann auch weniger ängstlich gefaßt werde, als es heute meist der Fall ist.

Damit soll keineswegs einer unbeschränkten Kindererzeugung das Wort geredet werden. Wenn in gebildeten Familien infolge großer Kinderzahl die Lebenshaltung so gedrückt wird, daß die Söhne keine angemessene Ausbildung erhalten können und

die Töchter keinen Mann finden, so ist damit für die Familie wie für die Rasse nichts gewonnen. Solange in dieser Beziehung nicht durch eine großzügige soziale Rassenhygiene Wandel geschaffen ist, ist daher eine gewisse vernünftige Beschränkung der Kinderzahl nicht zu umgehen; nur wird die an sich vernünftige Beschränkung zur Unvernunft, wenn sie zum Aussterben der Familien führt.

Natürlich kann es auch vorkommen, daß Eheleute für die Erzeugung gesunder Kinder in der Tat ungeeignet sind, was ihnen vor der Eheschließung noch nicht bekannt war. Die Tatsache, daß ein Kind mißrät, beweist freilich noch nicht die Untauglichkeit der Eltern zur Fortpflanzung, da weitere Kinder, in denen sich die Erbanlagen der Eltern in anderer Weise zusammenfügen, sehr wohl gesund sein können. Wenn aber auch ein zweites Kind minderwertig ausfällt oder sonst genügende Anhaltspunkte für Fortpflanzungsuntüchtigkeit der Eltern bestehen, so sollten weitere Geburten verhütet werden. Über Mittel und Wege ist am besten ein sachverständiger Arzt zu befragen. Auf die Fragen der Bevölkerungspolitik bzw. der sozialen Rassenhygiene gehe ich weiter unten ein. Hier sollte zunächst nur die Anwendung anthropologischer Erkenntnisse im Interesse der einzelnen Familien besprochen werden.

Ein wichtiges Anwendungsgebiet menschlicher Genetik ist die Familienkunde oder Genealogie. Erfreulicherweise hat das Interesse für familienkundliche Forschungen im letzten Jahrzehnt stark zugenommen; und wenn man einen neuen Jahrgang einer familienkundlichen Zeitschrift durchblättert, so zeigt sich unverkennbar, daß biologische Fragestellungen und Betrachtungsweisen heute eine viel größere Rolle spielen als in der älteren Genealogie, die sich vorzugsweise mit der Feststellung äußerer und formaler Dinge wie der Namen der Vorfahren, ihres Geburts- und Todesdatums, ihrer äußeren Lebensgeschichte, ihres Wappens usw. beschäftigte. Die moderne biologische Familienkunde sucht dagegen möglichst die körperliche und seelische Eigenart der Familienmitglieder und ihren erblichen Zusammenhang zu ermitteln. Sie ist also in weitem Ausmaß Familienanthropologie. Da es nicht möglich ist, an dieser Stelle die Bedeutung der Anthropologie für alle Wissensgebiete, für die sie Hilfswissenschaft ist, im einzelnen zu schildern, beschränke ich mich auf die Besprechung der Frage, wie anthropologische Feststellungen auf dem Gebiet der Familienkunde zu praktischen Entscheidungen angewandt werden können. In Vaterschaftsprozessen steht meist die Frage zur Entscheidung, ob ein von der Mutter des Kindes als Vater angegebener Mann wirklich der Vater sei oder nicht bzw. welcher von mehreren in Betracht kommenden Männern der Vater des Kindes sei. Meist handelt es sich darum, festzustellen, wer für den Unterhalt des Kindes aufzukommen hat, öfter auch um die Frage, ob ein Kind als ehelich anzusehen ist oder nicht; in seltenen Fällen hängen Entscheidungen über die Erbfolge davon ab, die weitgehende vermögensrechtliche und selbst politische Folgen haben können. Wenn der Verdacht einer Kindesunterschiebung besteht, kann ausnahmsweise auch die Mutterschaft in Frage stehen. Die Feststellung, daß ein bestimmter Mann der Vater eines Kindes ist, ist nur ausnahmsweise möglich, nämlich dann, wenn sowohl der Vater als auch das Kind Träger einer seltenen dominant erblichen Anomalie sind. Wenn z. B. der in Frage kommende Mann und ebenso das Kind eine Verwachsung des 3. und 4. Fingers (Syndaktylie) an beiden Händen aufweisen, so kann mit praktisch ausreichender Sicherheit geschlossen werden, daß er wirklich der Vater ist, vorausgesetzt, daß nicht

etwa noch ein anderer in Betracht kommender Mann, z. B. ein Bruder des ersten, dieselbe seltene Anomalie aufweist. Derartige Fälle, wo eine sichere Entscheidung möglich ist, werden in Zukunft, wenn man erst einmal allgemeiner darauf wird achten gelernt haben, vielleicht gar nicht so selten wie bisher gefunden werden. In einigen Fällen stand die Frage zur Entscheidung, ob ein Kind einer weißen Frau von einem Neger abstamme. Auch diese Frage ist mit ausreichender Sicherheit zu entscheiden, da ein Mulattenkind von andern Kindern unserer Bevölkerung sich regelmäßig deutlich unterscheidet. Häufiger als positive Entscheidungen sind negative möglich, dahingehend, daß ein bestimmter Mann als Vater eines bestimmten Kindes nicht in Betracht kommt. Aber auch wenn eine bestimmte Entscheidung nicht getroffen werden kann, kann die anthropologische Untersuchung wertvolle Anhaltspunkte bieten, ob ein bestimmter Mann wahrscheinlich der Vater sei oder nicht bzw. welcher von mehreren Männern mit größter Wahrscheinlichkeit als Vater anzusehen sei. Als Unterlagen für die Beurteilung der Vaterschaft sind alle als erblich bekannten Merkmale geeignet; auch solche Merkmale, deren Erblichkeit einstweilen nur vermutet werden kann, können brauchbar sein; und außer den einzelnen Merkmalen muß natürlich auch der Typus im ganzen berücksichtigt werden. Besonders beliebt als Unterlagen solcher Untersuchungen sind die Fingerlinien (Fingerabdrücke), die ja auch im allgemeinen zur Feststellung der Identität von Verbrechern benutzt werden, und die sog. Blutgruppen. Die erbliche Bedingtheit der Fingerlinien (Papillarmuster) hat bisher noch nicht ganz klargestellt werden können; auf jeden Fall ist sie recht verwickelt. Die Erblichkeit der „Blutgruppen" dagegen ist einfacher. Die Einteilung in „Blutgruppen" gründet sich auf die Erscheinung, daß die Blutkörperchen eines Menschen durch das Blutserum gewisser anderer Menschen klebrig gemacht und zusammengeklumpt (agglutiniert) werden, nie aber natürlich durch das eigene Serum. Je nach der wechselseitigen Agglutination ergeben sich vier verschiedene Blutgruppen, deren Eigenart durch bestimmte Erbanlagen bedingt ist. Aus den Gesetzen der Erblichkeit dieser Blutgruppen folgt, daß man in gewissen Fällen, im ganzen etwa einem Viertel aller Fälle, entscheiden kann, ob ein Mann von einer bestimmten Blutgruppe der Vater eines Kindes von einer bestimmten Blutgruppe sein kann oder nicht. Eine positive Entscheidung, daß ein bestimmter Mann der Vater sein müsse, wird durch die Bestimmung der Blutgruppe niemals ermöglicht. Aber auch eine negative Entscheidung in einer Minderheit von Fällen ist keineswegs ohne Wert; und es sind bereits manche Fälle bekanntgeworden, wo ein Mann als Vater eines Kindes auf diesem Wege ausgeschlossen werden konnte. Zum Teil erklärt sich die Beliebtheit der Blutuntersuchung allerdings auch aus dem Umstande, daß das Blut als „ein ganz besonderer Saft" gilt, der mit der Rasse bzw. der Erbmasse in unmittelbarsten Zusammenhange stehe bzw. sogar damit identisch sei. Tatsächlich sind jedoch jene Eigenschaften, die den „Blutgruppen" zugrunde liegen, nur erbliche Eigenschaften wie andere auch.

Die Kenntnis, daß es verschiedene Blutgruppen gibt, ist in Fällen starken Blutverlustes oder hochgradiger Blutarmut, wo es nötig ist, Blut von einem andern Menschen überzuleiten, von besonderer Bedeutung; denn wenn bei der Blutübertragung Verklumpung der Blutkörperchen eintritt, ist das natürlich verhängnisvoll. Daher ist es nötig, vor der Übertragung die Verträglichkeit der beiden Blutarten festzustellen.

Ein wichtiges Gebiet angewandter Anthropologie ist die Kriminalanthropologie. Die anthropologischen Merkmale, insbesondere die Fingerabdrücke, sind ein wertvolles Hilfsmittel der Feststellung der Identität von Verbrechern. Darüber hinaus ist man in den letzten Jahren in mehreren Staaten (Bayern, Sachsen, Lettland, Belgien u. a.) dazu übergegangen, die körperliche und seelische Eigenart verurteilter Rechtsbrecher sowie auch ihre Familiengeschichte zu erheben und in einem Befundbogen niederzulegen. Man ist nämlich immer mehr zu der Einsicht gekommen, daß es nicht genügt, die einzelnen Verbrecher zu bestrafen, sondern daß die Maßnahmen des Strafrechts sich mehr auf den Täter als auf die Tat richten müssen. Ein Verbrechen ist das Ergebnis des Zusammentreffens gewisser Bedingungen der Umwelt (Gelegenheit, Verführung, Not usw.) mit der Veranlagung des Täters. Der Anteil der Umwelt und der Veranlagung ist in verschiedenen Fällen ein verschiedener. Die Erfahrung zeigt einerseits, daß unter Umständen auch ein Mensch, der sonst durchaus nicht dazu neigt, die Rechtsordnung zu verletzen, zu einem Verbrechen kommen kann, und andererseits, daß es „geborene Verbrecher" gibt, die auch unter günstigen Lebensverhältnissen immer wieder Verbrechen begehen. In der Mehrzahl der Fälle wirken ungünstige Umwelt und ungünstige Anlage freilich zusammen; es wäre aber offenbar verfehlt, einen Gelegenheitsverbrecher ebenso zu behandeln wie einen unverbesserlichen Verbrecher aus Anlage. Der biologische Befund, bei dem auch die Familiengeschichte gebührend zu berücksichtigen ist, kann nun eine Voraussage über das weitere Verhalten eines Rechtsbrechers ermöglichen; und es ist daher zweckmäßig, diesem Befund bei der Gestaltung des Strafvollzuges (Vollzug in Stufen, bedingte Entlassung), eventuell auch bei späteren Gerichtsverfahren gegen denselben Rechtsbrecher zu berücksichtigen. Es wäre dringend zu wünschen, daß auch in das deutsche Strafrecht eine Bestimmung aufgenommen würde, daß unverbesserliche Verbrecher mit Rücksicht auf den Schutz der Gesellschaft wie Geisteskranke der dauernden Verwahrung zuzuführen seien. Wie darüber hinaus die kriminalbiologische Bestandaufnahme der Verbrecher und der Familien, aus denen sie hervorgehen, dazu dienen kann, dem Verbrechen die Wurzel abzugraben, soll weiter unten bei Besprechung der Möglichkeiten praktischer Rassenhygiene erörtert werden.

Alle bisher genannten Anwendungen der Anthropologie reichen an Bedeutung nicht entfernt an jene heran, die die Anthropologie auf dem Gebiete der Bevölkerungspolitik gewinnen könnte. Bisher ist die Bevölkerungspolitik leider fast nur quantitativ behandelt worden, sowohl von denen, die ein Wachstum der Bevölkerung als erstrebenswertes Ziel ansehen, als auch von jenen andern, die die Bevölkerung durch Einschränkung der Vermehrung an den verfügbaren Lebensraum anpassen möchten. Es ist ja auch ganz klar, daß unter der Voraussetzung des Vorhandenseins von genügend Lebensraum und Rohstoffen die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit und die politische Macht eines Volkes um so größer ist, je mehr tüchtige Menschen es umfaßt. Allerdings kann der Lebensraum und der Vorrat an Rohstoffen im Verhältnis zur Volkszahl auch zu klein sein und wenn in diesem Falle eine Erweiterung des Lebensraumes durch außenpolitische Machtmittel nicht in Frage kommt, so kann das Wohl des Volksganzen durch eine Einschränkung der Volkszahl unter Umständen gewinnen. Die Beurteilung, ob unter den gegebenen

Möglichkeiten der Wirtschaft eine positive oder eine negative Bevölkerungspolitik in quantitativer Hinsicht angezeigt ist, ist Sache der Volkswirtschaftslehre. Wie aber das Urteil in quantitativer Hinsicht auch ausfallen mag, auf jeden Fall ist es für ein Volk gut, daß es aus möglichst vielen tüchtigen und möglichst wenigen untüchtigen Menschen besteht. Die Tüchtigkeit eines Menschen aber hat ihre Wurzel in seiner erblichen Veranlagung, und die qualitative Bevölkerungspolitik ist daher in erster Linie eine Sache angewandter Anthropologie.

Man hat die erbliche Veranlagung eines Volkes bisher meist als etwas Beständiges vorausgesetzt, das keinem Wechsel unterworfen sei und um das man sich nicht zu kümmern brauche, wenn man nicht gar unter dem Einfluß lamarckistischer Vorstellungen angenommen hat, daß jedes Volk wie das ganze Menschengeschlecht in einer dauernden Höherentwicklung begriffen sei. Tatsächlich ist im Lichte der modernen Biologie weder die eine noch die andere dieser beiden Anschauungen haltbar. Im Gegensatz zu der erblichen Veranlagung des einzelnen Menschen ist die einer Bevölkerung dem Wechsel unterworfen; und sie kann schon im Laufe weniger Generationen tiefgreifende Änderungen erleiden. Die praktisch entscheidende Ursache dieser Änderungen liegt in der verschieden starken Fortpflanzung der Menschen von verschiedener erblicher Veranlagung. Eine derartige unterschiedliche Fortpflanzung macht das Wesen der biologischen Auslese aus.

Man macht sich gewöhnlich auch nicht annähernd klar, wie schnell und gründlich unterschiedliche Fortpflanzung die Zusammensetzung einer Bevölkerung ändert. Das möge daher an einem einfachen Beispiel gezeigt werden. In Südafrika ist die Kinderzahl der Neger ungefähr doppelt so groß als die der Weißen. Nehmen wir einmal an, daß bei den Weißen von den Kindern jeder Familie im Durchschnitt 2 wieder zur Gründung einer Familie kommen, bei den Negern dagegen 4, so dürfte das der Wahrheit mindestens nahe kommen. Wenn nun eine Bevölkerung zu einem gegebenen Zeitpunkt zu gleichen Teilen aus Weißen und aus Negern besteht, so würde sich nach 4 Generationen, was bei den Negern etwa 100 Jahren entspricht, das Verhältnis schon auf 1:16 verschoben haben. Nach 200 Jahren würde nur noch ein Weißer auf 256 Neger kommen. Gegenwärtig kommen auf einen Weißen in der Südafrikanischen Union ungefähr 4 Neger. Am Ende dieses Jahrhunderts wird das Verhältnis also voraussichtlich 1:16 betragen; und mit dem Überwuchertwerden durch die Neger wird natürlich auch die Herrenstellung der Weißen zusammenbrechen. Die Reste der weißen Rasse werden in Südafrika voraussichtlich durch Mischungen aufgesogen werden und in einer Mischbevölkerung von weit vorwiegendem Negerblut noch eine Zeitlang weitervegetieren, bis sie auch als Mischungsbestandteile durch den geschilderten Auslesevorgang ausgetilgt werden. Parallel mit dem Rückgang der von der weißen Rasse stammenden Erbmasse, und zwar infolge dieses Rückgangs, wird natürlich auch die Kulturbegabung der südafrikanischen Bevölkerung heruntergehen.

In unserer Bevölkerung pflanzen sich die verschiedenen Rassenelemente zwar nicht getrennt voneinander fort; wenn aber mit bestimmten Erbanlagen Unterschiede der Fortpflanzung wie die zwischen Weißen und Negern verbunden sind, so muß das Ergebnis doch ein entsprechendes sein. Zahlreiche Tatsachen lassen darauf schließen, daß die geistig begabteren Menschen bei uns im Durchschnitt eine viel geringere

Kinderzahl hinterlassen als die weniger begabten. Die Begabung aber beruht im wesentlichen auf der erblichen Veranlagung. Und da die Begabten sich viel schwächer fortpflanzen als die weniger Begabten, ja schon seit geraumer Zeit nicht mehr den Bestand ihrer Familien erhalten, so müssen wir mit einen schnellen Niedergang der Kulturbegabung auch unseres Volkes rechnen.

Der direkte Weg, den Zusammenhang zwischen Begabungshöhe und Kinderzahl statistisch zu belegen, bestände darin, eine große Zahl von Eltern auf ihre Begabung zu prüfen und dann die Zahl der Kinder in den verschiedenen Begabungsstufen festzustellen. Dieser Weg ist bisher noch nicht beschritten worden und wird aus naheliegenden Gründen voraussichtlich so bald auch nicht beschritten werden. Immerhin liegen aus verschiedenen Ländern wertvolle Untersuchungen über die Kinderzahl von Leuten, die sich durch hervorragende Leistungen ausgezeichnet haben, vor. J. Bertillon hat im Jahre 1911 gefunden, daß 445 der berühmtesten Franzosen im Durchschnitt nur 1,3 Kinder hatten. Das reicht natürlich nicht entfernt aus, um auch nur die Eltern an Zahl zu ersetzen. In Amerika hat Cattell die Kinderzahl amerikanischer Gelehrter festgestellt und 1,5 im Durchschnitt gefunden. Auch bei uns reicht die Kinderzahl der Wissenschaftler, die doch ganz offenbar eine Auslese nach geistiger Begabung darstellen, lange nicht hin, um den Bestand der Familien zu erhalten. Die Gesamtheit der Akademiker wie der Angehörigen der geistigen Berufe überhaupt hat keine zur Erhaltung der Familien ausreichende Kinderzahl mehr. Die Familien der geistigen Berufe in ihrer Gesamtheit gehen daher dem Aussterben entgegen. So wie die Dinge heute liegen, hat akademisches Studium, ja höhere Begabung überhaupt, im allgemeinen ungenügende Fortpflanzung zur Folge. Noch ausgesprochener als für das männliche Geschlecht gilt das für das weibliche. Die Mädchen, welche sich dem akademischen Studium zuwenden, werden damit zum größten Teil von der Fortpflanzung ausgeschaltet, und was das Schlimmste ist, zum guten Teil infolge ihrer höheren Begabung. Ein Teil von ihnen heiratet zwar noch, erzeugt aber auch in der Ehe nur wenig Kinder; und jene Frauen, die wirklich einen geistigen Beruf ausüben, werden damit so gut wie ganz von der Fortpflanzung ausgeschaltet.

Im ganzen ist der Erfolg im wirtschaftlichen und kulturellen Leben ein ziemlich guter Maßstab für die Begabung und Tüchtigkeit. Daher ist die Begabung der verschiedenen sozialen Schichten im Durchschnitt stark verschieden. Unmittelbar ist das z. B. durch die Begabungsprüfungen, welche die Amerikaner an ihren Wehrpflichtigen während des Weltkrieges vorgenommen haben, dargetan worden. Die Kinder der oberen Stände zeichnen sich im Durchschnitt durch bessere Schulleistungen und bessere Begabung aus. Das ist z. B. von Kraner und Hartnacke durch Erhebungen über die Schulleistungen in einem sächsischen Bezirk belegt worden, ferner von Duff und Thomson durch Begabungsprüfungen an den Kindern eines englischen Bezirks, ganz besonders auch durch die Feststellungen von Terman über die Herkunft hochbegabter Kinder in Kalifornien.

Man kann die Unterschiede der Fortpflanzung verschiedener sozialer Schichten mit genügender Genauigkeit erfassen, wenn man die Zahl der Geburten, die auf eine Eheschließung kommen, in den verschiedenen Gruppen vergleicht. So kamen in Preußen im Jahre 1912 auf eine Eheschließung Geburten bei den

höheren Beamten, freien Berufen 2,0
Angestellten 2,5
gelernten gewerblichen Arbeitern 2,9
ungelernten gewerblichen Arbeitern 4,1
Landarbeitern 5,2

Der Unterschied zwischen der Kinderzahl der geistigen Berufe und der der ungelernten Handarbeiter ist also sogar noch etwas größer als der oben für Weiße und Neger in Südafrika angegebene. Auch die Familien der gelernten Arbeiter, die innerhalb der Gesamtheit der Handarbeiter eine ausgesprochene Auslese nach Tüchtigkeit darstellen, hatten also schon vor dem Kriege keine zur Erhaltung der Familien ausreichende Kinderzahl mehr. Erst recht gilt das für die Gegenwart. Auch in dem ganz überwiegend katholischen München ist es nicht anders, wie mir eine darauf gerichtete Berechnung gezeigt hat. Nach wenigen Generationen wird die gesamte Bevölkerung ihrer erblichen Begabung nach daher so beschaffen sein wie heute die Schicht der ungelernten Arbeiter.

Ich habe versucht, dem Zusammenhang zwischen Begabung und Fortpflanzung auch ohne den Umweg über die soziale Lage nachzugehen. Zusammen mit dem Münchener Schularzt Dr. Fürst habe ich von 809 Fortbildungsschülern einerseits die Durchschnittsnote und andererseits die Geschwisterzahl festgestellt. In der Gruppe der Lehrlinge, die in der Vorbereitung auf einen gelernten Beruf stehen (Maschinenbauer, Buchdrucker u. a.) ergab sich folgender Zusammenhang:

Schulnote	Kinderzahl der Eltern
II	2,39
III	2,70
IV	3,15
V	6,51

Es zeigt sich an diesen Zahlen und ebenso auch in der Gruppe der Ungelernten, daß die Kinderzahl in den Familien im Durchschnitt um so größer ist, je schlechter die Schulleistungen der Kinder sind. Die Kinderzahl bei Note II und III reicht nicht zur Erhaltung aus. Die Vermehrung der Bevölkerung ist also im wesentlichen den Noten IV und V überlassen. Bei Note V ist die Kinderzahl fast dreimal so groß als bei Note II (Note I als Durchschnittszensur kam nicht vor). Das Ergebnis erklärt sich im wesentlichen daraus, daß die einsichtigeren Ehepaare ihre Kinderzahl klein halten, während die weniger einsichtigen das nicht oder doch weniger erfolgreich tun. Es ist zu beachten, daß der Zusammenhang mit der Begabung der Eltern über die Begabung der Kinder geht. Könnte man den Zusammenhang zwischen der Begabung der Eltern und ihrer Kinderzahl direkt erfassen, so würde dieser vermutlich noch stärker sein.

Um auch die Kinderzahl in jenen Familien beurteilen zu können, aus denen die allerunbegabtesten Kinder hervorgehen, habe ich auch die Geschwisterzahl von 725 Kindern, die wegen Schwachsinns in Münchener Hilfsschulen waren, feststellen lassen. Es zeigte sich, daß die Kinderzahl dieser Familien den Münchener Durchschnitt um mindestens 55 bis 60% übertraf. Ähnliche Ergebnisse haben auch Erhebungen von Reiter und Osthoff in Rostock und von Cassel in Berlin gehabt. Wenn dieses Überwuchern der minderbegabten und der Rückgang der höherbegabten Familien

so weitergeht, so wird in verhältnismäßig wenigen Generationen ein unerhörter geistiger Tiefstand der Bevölkerung die Folge sein.

Diese Konsequenzen sind unserer öffentlichen Meinung, die vom biologischen Denken noch ziemlich unberührt ist, natürlich nicht angenehm. Man sucht sich ihnen daher durch verschiedene Einwände zu entziehen. Man sagt wohl, mit der Gefahr des Niedergangs könne es so schlimm nicht sein; denn die Familien der geistigen Berufe hätten sich schon immer im Dienste der Kultur aufgezehrt. Es sei eben nötig und auch ganz in der Ordnung, daß sie immer wieder durch begabte Menschen, die aus der Masse des Volkes aufsteigen, ersetzt würden. Dazu ist zu sagen, daß der Vorrat an Begabungen in der breiten Masse, so groß er auch sein mag, doch keineswegs unerschöpflich ist. Wenn in jeder Generation ein großer Teil der Begabten aus den unteren Ständen aufsteigt und infolge dieses Aufstiegs der Kinderarmut und schließlich dem Aussterben der gehobenen Familien verfällt, so muß der Vorrat an Begabungen in der breiten Masse und in der Folge auch der in den oberen Ständen, im Laufe der Generationen eben abnehmen. Es ist aber auch nicht zutreffend, daß die Familien der oberen Stände schon immer so kinderarm gewesen seien, daß sie ihren Bestand nicht erhalten hätten. Noch vor wenigen Generationen waren auch in den gebildeten Familien mehr als ein halbes Dutzend Kinder die Regel und Familien mit einem Dutzend und mehr Kindern keineswegs selten. Die Familien der oberen Stände erhielten daher früher nicht nur ihren Bestand, sondern sie vermehrten sich sogar und trugen damit zu einer Zunahme der Begabung in der Bevölkerung bei. Als dann in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts der Nachwuchs der gebildeten Familien spärlicher wurde, konnten die Lücken zunächst noch reichlich durch aufsteigende Elemente aus der Masse des Volkes, zumal aus dem Handwerker- und Bauernstande ersetzt werden. Diese Quelle ist aber keineswegs unerschöpflich; denn eben infolge der gegenüber früheren Zeiten viel größeren Möglichkeiten sozialen Aufstiegs der Begabten ist der Vorrat an Begabungen in der breiten Masse und im Bauernstande immer geringer geworden. Die Schicht der ungelernten gewerblichen Arbeiter, die noch vor 100 Jahren keinen wesentlichen Bruchteil der Bevölkerung ausmachte, hat im Zeitalter der Industrie gewaltig an Zahl zugenommen, und sie hat sich im wesentlichen aus den alten Ständen der Handwerker, der Kleinbauern und der Landarbeiter rekrutiert und zwar vorzugsweise aus Elementen dieser Schichten, denen die Fähigkeit zum sozialen Aufstieg fehlte. Eben weil dieser Vorgang nun schon ein Jahrhundert anhält, ist der Vorrat an höheren Begabungen in den untersten Schichten schon weitgehend erschöpft. Die vorhin genannten Untersuchungen über die Verteilung der Begabungen bieten deutliche Anhaltspunkte dafür. Hohe Begabung von dem Grade, wie sie in den Untersuchungen Termans verlangt wurde, fand sich bei Kindern ungelernter Arbeiter nicht einmal mehr ein Tausendstel so häufig wie bei Kindern der sozialen Oberschicht. Und gerade die Unterschicht stellt den Nachwuchs der Nation.

Daß in der Masse der Bevölkerung Begabungen einfach neu entständen, ist nach allem, was wir über die biologische Bedingtheit der Begabung wissen, ausgeschlossen. Auch eine Steigerung der erblichen Begabung auf dem Wege einer Vererbung von Bildungserfolgen kommt nicht in Frage, denn eine „Vererbung erworbener Eigenschaften" gibt es eben nicht. Die landläufigen optimistischen Vorstellungen erweisen

sich also als biologisch nicht haltbar. Daß die Begabung der modernen Kulturvölker in raschem Niedergang begriffen ist, ist dagegen ein logisch unabweisbarer Schluß aus biologischen Tatsachen. Dieser Niedergang ist die hauptsächlichste Sorge der Rassenhygiene. Alle anderen Gefahren, die unserer Rasse drohen, sind demgegenüber von untergeordneter Bedeutung. Von den erblichen Geisteskrankheiten und anderen schweren Erbleiden droht keine allgemeine Rassengefahr, weil die Träger schwerer erblicher Leiden auch in der Gegenwart wenig zur Fortpflanzung kommen. Die natürliche Auslese sorgt also auch heute noch dafür, daß die schweren Erbleiden nicht zunehmen. Sehr groß aber ist die Gefahr der weiteren Zunahme leichterer körperlicher und geistiger Schwächezustände. Die Hauptgefahr aber droht von einem allgemeinen Niedergange der Begabung und der sonstigen geistigen Fähigkeit, nicht zum wenigsten auch der Anlagen des Charakters bzw. der sittlichen Veranlagung.

Die Ursachen des Blühens und Welkens der Völker und Kulturen sind schon seit Jahrtausenden Gegenstand des Nachdenkens gewesen. Erst die moderne Biologie aber hat uns diese Ursachen grundsätzlich verstehen gelehrt; und es kann keinem Zweifel unterliegen, daß diese Kenntnis der Ursachen uns auch in den Stand setzt, den heute drohenden Niedergang abzuwenden und an seine Stelle einen neuen Aufstieg treten zu lassen. Die ungenügende Kinderzahl der begabten und tüchtigen Familien beruht nicht auf einem Versagen der Fortpflanzungsfähigkeit aus inneren Ursachen, sondern auf absichtlicher Beschränkung. Gerade in den gebildeten Familien glauben die Eheleute vielfach sich aus wirtschaftlichen Gründen nicht mehr als ein oder zwei Kinder leisten zu können. Und unsere wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Einrichtungen, die fast rein individualistisch gerichtet sind und auf das Wohl der Familie so gut wie keine Rücksicht nehmen, sind in der Tat derart, daß Kinderarmut in vielen Fällen individuellen Vorteil bringt. Die Rücksicht auf die Erbteilung z. B. veranlaßt viele wohlhabende Familien, nicht mehr als zwei oder gar nur ein Kind in die Welt zu setzen. Das Aussterben der Familie ist den meisten Menschen dabei gewiß nicht gleichgültig; aber sie bilden sich eben ein, daß zwei Kinder, oder gar ein „Stammhalter" genügen, um die Familie zu erhalten. Auf diese Weise kann die einzelne Familie zwar, wenn sonst alles gut geht, noch einige Generationen in einzelnen Individuen fortexistieren; auf die Dauer aber nimmt auch sie unweigerlich an dem Aussterben der ganzen Schicht teil. Infolge der Verluste des Weltkrieges sind zahlreiche Familien, die nur noch ein oder zwei Kinder hatten, ausgetilgt worden, und zahlreiche Eltern haben dadurch den eigentlichen Sinn ihres Lebens verloren. Wenn dagegen mehrere Kinder vorhanden sind, so pflegen doch wenigstens einige davon die Familie fortzusetzen. Auch in Friedenszeiten kommen ja durchaus nicht alle Kinder wieder zur Fortpflanzung; ein Teil stirbt schon im Säuglingsalter, ein anderer Teil bleibt ehelos und ein weiterer hat in der Ehe keine Kinder. Wenn man das berücksichtigt, so ergibt sich, daß auch drei Kinder im Durchschnitt noch nicht ganz zur Erhaltung der Familien ausreichen und daß erst bei vier Kindern eine schwache Vermehrung eintritt. Zum Teil liegt die Ursache des Ein- und Zweikindersystems also in biologischer Unbildung begründet; und diese Ursache wenigstens sollte doch eigentlich zu beseitigen sein. Andererseits aber sind unsere wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Einrichtungen in weitem Ausmaß in ihrer Wirkung familienfeindlich. Zahlreiche tüchtige junge Menschen werden dadurch an rechtzeitiger Eheschließung

gehindert; und die Hinausschiebung der Ehe führt in vielen Fällen schließlich zu dauernder Eheloſigkeit. Weiter wirkt das System unſerer Beamtenbeſoldung, unſer Steuerweſen und manches Andere gerade in den höheren Einkommensſtufen der Erzeugung einer ausreichenden Kinderzahl direkt entgegen. Hier richten ſich Einrichtungen des Staates alſo gegen das höchſte Intereſſe des Staates ſelber; denn ein zahlreicher tüchtiger Nachwuchs iſt die Grundlage, auf der die ganze Zukunft des Staates ruht. Sobald die Lebensfeindlichkeit vieler unſerer öffentlichen Einrichtungen erkannt wird, ſollte daher auch eine Umgeſtaltung dieſer Einrichtungen im lebensfreundlichen Sinne möglich ſein. Was dazu fehlt, iſt im weſentlichen nur die biologiſche Einſicht bei den geſetzgebenden Körperſchaften und ſonſtigen maßgebenden Stellen. Daher iſt die Verbreitung der raſſenhygieniſchen Erkenntnis in unſerer öffentlichen Meinung entſcheidend für das Schickſal unſerer Raſſe und Kultur. Ich bin durchaus *nicht* der Anſicht, daß unſere Zeitgenoſſen nicht mehr den nötigen Opfermut hätten. Im Kriege haben Millionen ihr Leben eingeſetzt, weil ſie der Überzeugung waren, daß es um die Exiſtenz der Nation gehe. Die Zukunft der Nation und ihrer Kultur iſt durch das Ausſterben der kulturbegabten Familien aber in noch viel furchtbarerer Weiſe bedroht als durch die äußeren Feinde. Und was das Allerſchlimmſte iſt: dieſe Gefahr iſt den Augen der meiſten auch unſerer „Gebildeten" einſtweilen noch verborgen.

Während für die Erhaltung der tüchtigen Familien von ſtaatswegen einſtweilen nichts geſchieht, viele ſtaatliche Einrichtungen ihr ſogar entgegenwirken, werden für die Erhaltung untüchtiger Raſſenelemente gewaltige Mittel aufgewandt. Die Maßnahmen der *ſozialen Fürſorge* und der ſozialen Verſicherungen haben in weitem Ausmaß die Folge, daß untüchtige Individuen, z. B. lebensſchwache Säuglinge, dadurch am Leben erhalten und vielfach auch in der Fortpflanzung begünſtigt werden. Es iſt natürlich mit unſerem humanen Empfinden nicht vereinbar, daß man die lebensuntüchtigen Individuen einfach ihrem Schickſal überläßt; das iſt auch vom raſſenhygieniſchen Standpunkt durchaus nicht nötig. Was aber im Intereſſe der Raſſe gefordert werden muß, iſt, daß die untüchtigen Elemente ſich nicht fortpflanzen. Die untüchtigen Individuen haben auch ſelber im allgemeinen kein Intereſſe an der Fortpflanzung; durch die Erzeugung untüchtiger Kinder wird ihr Elend vielmehr nur verſchlimmert. Auf die Befriedigung ihrer geſchlechtlichen Triebe zu verzichten, ſind aber auch die Untüchtigen meiſt nicht geneigt. Die Schwachſinnigen und ſonſtigen geiſtig Minderwertigen haben auch nicht die Einſicht und Selbſtbeherrſchung, welche die Verhütung der Empfängnis vorausſetzt; auch fehlt ihnen meiſt die Kenntnis zuverläſſiger Hilfsmittel und ihrer Anwendung. Es iſt daher eine dringende Aufgabe des Staates, den untüchtigen Raſſenelementen die Vermeidung der Fortpflanzung zu ermöglichen.

Ein geeignetes Mittel dazu iſt die künſtliche *Steriliſierung* oder *Unfruchtbarmachung*. Dieſe beſteht in der Durchtrennung und Unterbindung der Samenleiter (Vasa deferentia) beim Manne, der Eileiter (Tuben) bei der Frau. Da die Hoden bzw. Eierſtöcke erhalten bleiben, handelt es ſich alſo *nicht* um Kaſtration. Im Gegenſatz zu dieſer wird durch die Steriliſierung das körperliche und ſeeliſche Befinden nicht geändert. Die geſchlechtlichen Triebe und die Begattungsfähigkeit bleiben erhalten. Durch die Erfahrungen in Amerika, ſpeziell in Kalifornien, wo

schon gegen 8500 Personen aus rassenhygienischen Gründen sterilisiert worden sind, ist die Unschädlichkeit der Sterilisierung verbürgt. Die Sterilisierung sollte daher für alle geistig oder körperlich nicht vollwertigen Individuen freigegeben werden.

Von allen Kindern, die bei uns geboren werden, sind gegen 2% so schwachsinnig, daß sie nicht einmal den Anforderungen der Volksschule genügen können. In der gesamten Bevölkerung des Deutschen Reiches sind also über eine Million Schwachsinnige. Etwa 1% aller Geborenen wird geisteskrank auf Grund erblicher Anlage. Mehrere weitere Prozent weisen Anomalien des Gemüts und Charakters auf, die zwar nicht den Grad eigentlicher Geisteskrankheit erreichen, aber doch die Lebenstüchtigkeit ihrer Träger stark beeinträchtigen und sie vielfach zu asozialen, gemeinschädlichen Individuen machen. Im ganzen rechnet der bekannte Medizinalstatistiker Prinzing mit etwa 10% geistig nicht vollwertiger Individuen in unserer Bevölkerung; das würde im Reich mehr als 6 Millionen machen. Zu diesen geistig Untüchtigen kommen die körperlich Untüchtigen, die Taubstummen, Blinden und Krüppelhaften, die Schwächlichen und Schwindsüchtigen. Ihre Zahl ist sicher nicht kleiner wie die der geistig nicht Vollwertigen. Der bekannte Sozialhygieniker Grotjahn schätzt, daß etwa ein Drittel unserer Bevölkerung nicht vollwertig in irgendeiner Richtung ist. An der Fortpflanzung aller dieser Elemente hat der Staat kein Interesse; in so weitem Umfang sollte daher die Sterilisierung freigegeben werden. Die Sterilisierung verbrecherisch veranlagter Psychopathen würde auch ein wirksames Mittel zur Bekämpfung des Verbrechens sein. Bei Verbrechern aus Anlage würde die zwangsmäßige Sterilisierung in Frage kommen, falls sie nicht freiwillig zustimmen sollten. Im übrigen sollte aber die Sterilisierung nicht den Charakter einer Strafe tragen, sondern vielmehr den einer Fürsorgemaßnahme. Eine enge Verbindung mit dem Strafrecht würde ihrer Einführung bei großen Teilen der Bevölkerung nur hinderlich sein. Ich bin daher der Ansicht, daß einstweilen nur die Einführung freiwilliger Sterilisierung anzustreben ist; die zwangsmäßige wird niemals große Bedeutung haben und daher vielleicht am besten überhaupt zu vermeiden sein. Es ist ein Verdienst des früheren Bezirksarztes Boeters in Zwickau, in Deutschland mit der Sterilisierung einer Anzahl minderwertiger Individuen vorangegangen zu sein. Man hatte ihm gedroht, der Staatsanwalt werde gegen ihn einschreiten. Das ist aber bemerkenswerterweise nicht geschehen; das deutsche Strafgesetzbuch bietet keine Handhabe dazu; handelt es sich doch um eine Vorbeugungsmaßregel, durch die der Einzelne nicht geschädigt wird, sondern die vielmehr in seinem Interesse liegt und von der auch der Staat ganz überwiegenden Nutzen hat. Bei dieser Sachlage dürfte es am besten sein, einstweilen keine gesetzliche Regelung der Sterilisierung anzustreben; denn in Anbetracht der herrschenden Vorurteile wäre zu befürchten, daß eine solche viel zu eng ausfallen würde. Die Hauptaufgabe ist vielmehr gegenwärtig, die Einsicht in die Zweckmäßigkeit der Sterilisierung Untüchtiger zu verbreiten.

Es wird gelegentlich eingewandt, daß wir von den Gesetzen der Erblichkeit noch zu wenig wüßten, um derart eingreifende Maßnahmen verantworten zu können. Da hier nur die freiwillige Sterilisierung befürwortet wird, handelt es sich aber gar nicht um einen Eingriff in die Rechte des Einzelnen. Und der Staat hätte nur dann ein Interesse an der Fortpflanzung untüchtiger Menschen, wenn er so sehr

an Menschenmangel litte, daß er auch auf die Fortpflanzung der Untüchtigen nicht verzichten könnte, selbst auf die Gefahr hin, daß er dadurch viele neue untüchtige Bürger erhielte. So liegen die Dinge aber keineswegs bei uns. Wir haben nur an tüchtigen Menschen Mangel, nicht aber an Menschen überhaupt; es ist vielmehr gegenwärtig geradezu die schwierigste Aufgabe für die Lenker der Geschicke unseres Volkes, allen Volksgenossen die Möglichkeit des Lebensunterhalts durch eigene Arbeit zu verschaffen. Daß aus untüchtigen Familien mit viel größerer Wahrscheinlichkeit untüchtige Nachkommen hervorgehen als aus tüchtigen, ist eine an zahlreichen Familienstammbäumen bestätigte Wahrheit; und folglich ist die Fortpflanzung untüchtiger Familien unbeschadet des Umstandes, daß gelegentlich auch tüchtige Nachkommen aus ihnen hervorgehen könnten, im ganzen durchaus unerwünscht. Individuen, die dauernd unterstützungsbedürftig sind, sollte auch dann die Sterilisierung freigegeben werden, wenn körperliche oder geistige Mängel an ihnen nicht direkt feststellbar sind; denn die Tatsache, daß sie auf die Dauer keinen Lebensunterhalt finden, ist an sich schon ein Zeichen, daß sie nicht vollwertig sind.

Der Umstand, daß jemand geistig nur mittelmäßig begabt ist, genügt natürlich nicht, um seine Fortpflanzung unerwünscht zu machen; das ist vielmehr erst der Fall, wenn eine ausgesprochene Minderbegabung vorliegt. Selbstverständlich braucht ein Volk eine breite Grundlage körperlich tüchtiger Handarbeiter, die durch höhere geistige Begabung in ihrer Leistung höchstens beeinträchtigt werden würden. Dem Aussterben der hohen Begabungen aber kann nicht durch Sterilisierung gesteuert werden, sondern dafür ist eine positive Förderung der begabten Familien nötig, von der noch zu reden sein wird. Indirekt aber kommt die Sterilisierung der Untüchtigen den Tüchtigen dadurch zugute, daß dadurch in Zukunft sehr große Summen eingespart werden können, die andernfalls durch die unvermeidliche Fürsorge für die Untüchtigen verschlungen werden.

Grundsätzlich wären auch Eheverbote geeignet, der Fortpflanzung Minderwertiger entgegenzuwirken. Da indessen unehelicher Verkehr schwer verhindert werden kann und da Eheverbote immerhin einen schweren Eingriff in die Rechte der Persönlichkeit bedeuten, scheint es mir richtiger, Eheverbote aus rassenhygienischen Gründen einstweilen nicht zu fordern. Trotzdem besteht aber natürlich ein öffentliches Interesse, daß gesunde Personen nicht durch die Ehe mit einer kranken geschädigt oder gefährdet werden. Geschlechtskranke, Schwindsüchtige und schwere Psychopathen müssen nach Möglichkeit von der Ehe ferngehalten werden. Es ist daher anzustreben, daß alle Ehebewerber sich einer Untersuchung auf ihre Ehetauglichkeit durch einen sachverständigen Arzt zu unterziehen haben.

Darüber hinaus ist zu fordern, daß alle Staatsbürger von klein auf in regelmäßigen Abständen alle paar Jahre ärztlich untersucht werden und daß über ihren körperlichen und geistigen Zustand ein amtlicher Personalbogen geführt wird. Auch Angaben über die Begabung und Leistungsfähigkeit sowie über die biologische Beschaffenheit der Familie sollten darin niedergelegt werden. Diese Personalbogen oder Standesbogen, die amtlich aufzubewahren wären, etwa im Anschluß

an die Standesämter, würden die Grundlage einer zukünftigen Rassenhygiene zu bilden haben, z. B. für die Frage der Sterilisierung, der Ehetauglichkeit und manches andere.

Noch wichtiger als die Hemmung der Fortpflanzung der Untüchtigen ist die Förderung der Fortpflanzung der Tüchtigen und Begabten. Wie wir gesehen haben, droht ja von dem Aussterben der zur kulturellen Führung befähigten Familien das unmittelbarste Unheil für unsere Rasse und Kultur. An und für sich müßte es selbstverständlich möglich sein, daß die tüchtigen Familien sich wieder stärker fortpflanzen würden als die untüchtigen, wie es in früheren Zeiten gewesen ist. Daß sie es heute nicht mehr tun, ist nicht etwa durch ein Nachlassen ihrer Fortpflanzungsfähigkeit bedingt, sondern durch einen Wechsel der materiellen und geistigen Umwelt derart, daß ihnen heute eine größere Kinderzahl nicht mehr wünschenswert oder nicht mehr tragbar erscheint. Diese Umwelt ist aber durch Menschen geschaffen worden und folglich durch menschliche Macht änderbar. Es muß möglich sein, die Gesellschafts- und Wirtschaftsordnung so zu gestalten, daß Kinderreichtum für tüchtige und begabte Familien keinen Nachteil mehr bringt, sondern im Gegenteil wieder einen Vorteil bedeutet. Voraussetzung ist nur die Einsicht, daß die Tüchtigkeit der Rasse das höchste Gut des Volkes und des Staates ist. Auf den Sieg dieser Einsicht kommt alles an.

Schon heute sollten folgende Reformen im Dienste positiver Bevölkerungspolitik durchführbar sein: Familien mit drei und mehr Kindern sollten von der sog. Erbschaftssteuer befreit werden. Der entstehende Ausfall für das Reich sollte dadurch gedeckt werden, daß Familien mit nur zwei Kindern und besonders die mit einem Kinde entsprechend stärker herangezogen würden. Es würde dadurch erreicht werden, daß Kinder aus Familien, die ihren Bestand erhalten, nicht mehr so stark wie heute gegenüber den einzigen Kindern benachteiligt wären. Dann würde voraussichtlich doch das eine oder das andere Elternpaar, das heute mit Rücksicht auf die Erbteilung nur ein oder zwei Kinder hat, lieber ein Kind mehr haben, als einen erheblichen Teil des Vermögens an den Staat fallen zu lassen. Dieser Vermögensteil könnte dann zur Ausbildung eines Sohnes oder als Mitgift für eine Tochter dienen; und es würde auf diese Weise erreicht werden, daß Kinderarmut nicht mehr in dem Maße wie gegenwärtig einen Vermögensvorteil bedeuten würde oder, von der andern Seite gesehen, daß Kinder, die mehrere Geschwister haben, gegenüber den einzigen Kindern nicht mehr so stark wie heute benachteiligt wären. Und selbst wenn eine Vermehrung der Kinderzahl nicht erreicht werden würde, so würde der Staat durch eine solche Regelung der Erbschaftssteuer doch bekunden, daß er den Wert des Nachwuchses wirtschaftlich tüchtiger Familien zu würdigen wisse, während die gegenwärtige Gestaltung des Erbrechts sie unvermeidlich zum Aussterben bringt.

Auch die Einkommensteuer bedarf einer Umgestaltung in rassenhygienischem Sinne. Es wird soviel davon geredet, daß die Steuer möglichst auf die „tragfähigen Schultern" gelegt werden müsse. Tatsächlich aber läßt die Durchführung dieses löblichen Grundsatzes nur allzu viel zu wünschen übrig. Da das Einkommen der Ehegatten gemeinsam versteuert wird und der Steuersatz mit der Höhe des Einkommens steigt, so besteht im Deutschen Reich sogar eine Steuer auf die Ehe

als solche, wenn auch nicht unter diesem Namen. Zwei ledige Personen, die zusammen dasselbe Einkommen haben, zahlen in den höheren Einkommensstufen tatsächlich weniger Steuer. Das wäre ein lächerlicher Zustand, wenn es nicht empörend wäre. Durch die Bestimmung, daß in allen Einkommenstufen eine bestimmte kleine Summe für jedes Familienmitglied steuerfrei bleibt, wird die Benachteiligung der größeren Familien in den höheren Einkommenstufen keineswegs ausgeglichen. Im Gegenteil, es wird dadurch bewirkt, daß gerade in den höheren Einkommenstufen die Junggesellen und die Kinderarmen stark bevorzugt sind. Es wäre meines Erachtens nicht mehr als recht und billig, wenn die Steuer für jedes Kind und ebenso für die Frau um je 20% vermindert würde, und zwar bis in hohe Einkommensstufen. Ehepaare mit vier und mehr Kindern würden dann steuerfrei ausgehen. Sie würden aber trotzdem im Grunde für das Volksganze noch mehr leisten als die Junggesellen und Kinderarmen. Für Junggesellen könnte die Steuer schon in mittleren Einkommensstufen ruhig 40% des Einkommens betragen.

Auch die Beamtenbesoldung läßt bisher die gebotene Rücksicht auf die Familie vermissen. Es gibt zwar Kinderzuschläge; aber diese sind in allen Gehaltsstufen gleich hoch; die Beamten bekommen für das erste 10 M., die weiteren 20 M. Besonders in den oberen Gehaltsstufen sind diese Zuschläge völlig ungenügend, um die unvermeidlichen Mehrkosten, die eine Familie macht, zu decken. Die Junggesellen und Kinderarmen sind daher in den oberen Besoldungsstufen stark bevorzugt; und die unvermeidliche Folge ist, daß die Beamten ihre Kinderzahl danach einrichten. Unzweifelhaft ist das verfehlte Besoldungssystem wesentlich mitschuldig daran, daß der Nachwuchs der höheren und mittleren Beamten nicht mehr entfernt zur Erhaltung der Familien ausreicht. Damit sägt der Staat den Ast ab, auf dem er sitzt. Zu fordern ist, daß die Familienzulagen proportional dem Grundgehalt sein müssen und zwar von einer Höhe, daß sie den unvermeidlichen Mehraufwand für die Familie und die Ausbildung der Kinder decken. Einen begrüßenswerten Vorschlag, wie die Familienzulagen im einzelnen zu gestalten wären, hat Rektor Thiede in Charlottenburg, der Vorsitzende des Familienbundes der Beamten ausgearbeitet. Leider findet eine angemessene Berücksichtigung der Familie in den Reihen der Beamten selber Widerstand, nämlich bei jenen, die sich durch Kinderlosigkeit bzw. Kinderarmut an das bestehende System „angepaßt" haben und die nun von einem Ausbau der Kinderzulagen eine Beeinträchtigung ihrer persönlichen Interessen befürchten.

Mit den vorstehenden Forderungen sind die Möglichkeiten einer positiven Bevölkerungspolitik keineswegs erschöpft. Ein wirklich systematischer Aufbau einer Bevölkerungspolitik im rassenhygienischen Sinne aber wird erst möglich sein, wenn die Einsicht, daß es um das höchste Gut des Volkes geht, allgemein verbreitet sein wird. Dagegen muß noch vor gewissen Surrogaten einer vernünftigen Bevölkerungspolitik ausdrücklich gewarnt werden. In Frankreich hat man staatliche Geburtenprämien und Kinderbeihilfen für jedes Kind vom dritten ab eingeführt und zwar allgemein gleich hohe, je im Betrage von einigen Hundert Franken. Es ist kein Zweifel, daß man auf diese Weise eine quantitative Vermehrung der Geburten erreichen kann; und tatsächlich hat Frankreich, das in vergangenen Jahren bereits

einen Überschuß der Sterbefälle hatte, heute wieder einen gewissen Geburtenüberschuß. Es fragt sich aber, was für Elemente es sind, die durch eine solche Bevölkerungspolitik in der Vermehrung gefördert werden. Gebildete, begabte und wirtschaftlich tüchtige Familien lassen sich durch die Aussicht auf ein paar Hundert Franken ganz gewiß nicht bewegen, mehr Kinder in die Welt zu setzen; diese als die hauptsächlichen Steuerträger werden also durch das System der Beihilfen nur neu belastet. Dagegen ist für wirtschaftlich Untüchtige, dauernd Arbeitslose und Tagediebe in Frankreich die Kinderaufzucht ein lohnendes Geschäft. Personen, die infolge wirtschaftlicher Untüchtigkeit sich nicht selbst ernähren können, können nun heiraten und durch Erzeugung einer Anzahl Kinder sich eine Staatsrente von einigen Tausend Franken sichern. Auf diese Weise bekommt also Frankreich ganz gewiß nicht einen Nachwuchs an tüchtigen, begabten und unternehmungslustigen Menschen, die es als Träger einer gesunden Zukunft so dringend nötig hätte. Der rassische Niedergang wird durch solche Maßnahmen vielmehr nur beschleunigt.

Wir haben übrigens gar keinen Anlaß, mit besonderer Befriedigung oder Überhebung auf die verfehlte Bevölkerungspolitik der Franzosen herabzusehen. Der rassische Niedergang eines Volkes ist für seine Nachbarn kein Vorteil; auf die Dauer zieht er vielmehr auch die Nachbarvölker in Mitleidenschaft. Über alle nationalen Gegensätze hinweg besteht in der Rassenfrage ein solidarisches Interesse der weißen Völker, wenn ihnen dieses auch noch nicht zum Bewußtsein gekommen ist. Wir sind auf dem besten Wege, Frankreich auf dem Wege des rassischen Niedergangs zu folgen. Die Zahl der Geburten auf 1000 Frauen im fortpflanzungsfähigen Alter ist bei uns bereits beträchtlich niedriger als in Frankreich. Unsere tüchtigen Familien haben auch nicht mehr Kinder als die französischen. In unsern Großstädten reichen die Geburten nur noch etwa zur Hälfte hin, den Bestand der Familien zu erhalten. Das bedeutet den raschen Niedergang. Und wenn man etwas gegen den Geburtenrückgang tun will, so besteht die große Gefahr, daß man auch darin dem Beispiel Frankreichs folgen und die Fortpflanzung der Untüchtigen fördern wird. Auch bei uns liegt den meisten politischen Bestrebungen und moralischen Reden zur Hebung der Geburtenzahl unausgesprochen der Wunsch zugrunde: Die andern sollen so dumm sein und Kinder fürs Vaterland aufziehen! Diese Politik führt aber zu nichts Gutem. Die Weckung der moralischen Verantwortlichkeit muß sich vor allem in der sozialen Moral auswirken, die unserer Gesellschafts- und Staatsordnung zugrundeliegt. Die staatliche Politik, die innere wie die äußere, muß ihr höchstes Ziel in der Sicherstellung der rassischen Grundlage der Nation sehen.

Am meisten Boden gewonnen hat diese Einsicht bisher in den Vereinigten Staaten von Amerika, die auch sonst im Begriffe sind, die wirtschaftliche und kulturelle Führung der Welt zu übernehmen. In den biologischen Wissenschaften, die so grundlegend für das menschliche Leben sind, besonders in der Genetik, steht Amerika heute an erster Stelle. Auch die rassenhygienischen Konsequenzen, die sich aus der biologischen Einsicht ergeben, hat man in mehreren Staaten der Union bereits tatkräftig in Angriff genommen. In Kalifornien sind bereits Tausende von Minderwertigen sterilisiert worden; und man ist im Begriff, die Sterilisierung

in so weitem Umfange zur Anwendung zu bringen, daß dadurch eine wirksame Reinigung der Rasse von untüchtigen Elementen erreicht wird. Die großartigste Maßnahme angewandter Anthropologie ist aber die Einwanderungsgesetzgebung der Vereinigten Staaten.

Die amerikanische Einwanderungsgesetzgebung dient einerseits dazu, der Gefahr einer Übervölkerung vorzubeugen und die vorhandenen Produktionsmittel möglichst den eingesessenen Amerikanern vorzubehalten, andererseits aber auch und das vor allem, einer Verwischung der rassischen Eigenart der Bevölkerung nach Möglichkeit vorzubeugen. Der Grundstock der amerikanischen Bevölkerung stammt von Einwanderern aus England, Deutschland, Irland und Skandinavien. Auch während des ganzen 19. Jahrhunderts kamen in der Hauptsache nur Einwanderer aus der nordwestlichen Hälfte Europas. Um die Jahrhundertwende aber änderte sich das Bild. Eine starke Einwanderung von Ost- und Südeuropa setzte ein; Millionen von Ostjuden und Italienern kamen an, und in wenigen Jahrzehnten sammelten sich z. B. in New York $1^1/_2$ Millionen Juden an. Gleichzeitig ging die Einwanderung aus Nordwesteuropa zurück. Die Amerikaner erkannten klar, daß in wenigen Jahrzehnten die alte eingesessene Bevölkerung vorwiegend nordischer Rasse von süd- und osteuropäischen Rassenelementen völlig überflutet sein würde, wenn man die Dinge so weiter gehen lasse. Sie beschränkten daher durch ein Gesetz von 1921 die Einwanderung aus jedem Lande auf 3% von jener Zahl, die 1910 an Eingewanderten aus diesem Lande vorhanden waren. Im Jahre 1924 wurde das Gesetz dahin verschärft, daß nur noch 2% der im Jahre 1890 vorhandenen Einwanderer aus jedem Lande zugelassen wurden. Seit 1929 werden die Quoten nach der Abstammung der Gesamtbevölkerung der Vereinigten Staaten (nicht nur der Eingewanderten) berechnet, wodurch die Erhaltung der rassischen Eigenart natürlich noch besser gewährleistet ist. Dadurch ist die Einwanderung im wesentlichen wieder auf Menschen aus der nordwestlichen Hälfte Europas beschränkt. Die Tendenz dieser Gesetzgebung ist eine durchaus rassenpolitische. Die Amerikaner treffen die Auslese nach der Rasse aber nicht so, daß sie jeden Einwanderer einzeln auf seine Rassenmerkmale untersuchen würden, sondern so, daß sie die Gesamtheit der Einwanderer aus einem Lande nach ihrer Herkunft beurteilen; und diese Methode ist nach dem, was wir oben über die Beurteilung eines Menschen ausgeführt haben, entschieden die sicherere und dabei die viel einfachere. Jeder einzelne Einwanderer aber wird auf seine geistige und körperliche Gesundheit und Tüchtigkeit untersucht. Die Einwanderung von Schwachsinnigen, Epileptikern, Geisteskranken, Psychopathen, Alkoholikern, Schwindsüchtigen, Analphabeten und allen Individuen, die voraussichtlich ihren Lebensunterhalt nicht selbst verdienen können, ist überhaupt verboten. Jährlich werden Zehntausende von Einwanderern, die als unerwünscht befunden werden, zurückgewiesen; und eine mehrfach größere Zahl wird durch die Bestimmungen schon in den Heimatländern zurückgehalten.

Eine wesentliche Stütze hat die Einwanderungsgesetzgebung in den Begabungsprüfungen an den Rekruten des amerikanischen Heeres während des Weltkrieges gefunden. Die Ergebnisse an den in Europa gebürtigen Rekruten gibt die folgende Figur wieder:

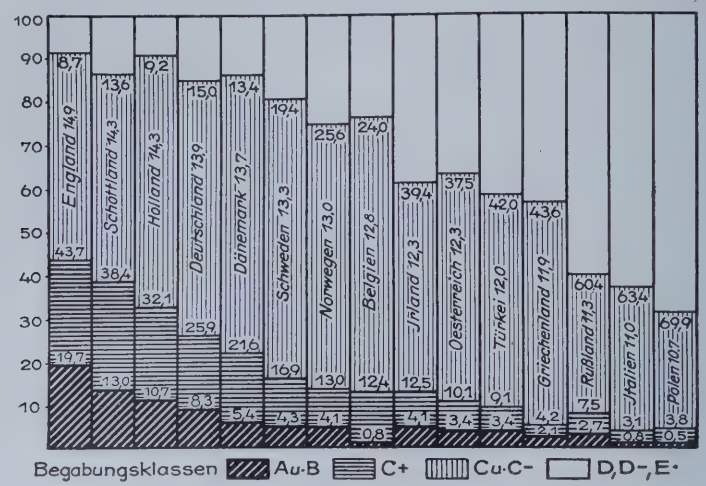


Abb. 283. Ergebnisse der Begabungsprüfung von 11435 in Europa geborenen Rekruten des amerikanischen Heeres.

Die Figur zeigt die Prozentverteilung der sehr guten und guten Begabung (A und B), der guten Durchschnittsbegabung (C +), der mittelmäßigen (C und C —) und der schwachen Begabung (D, D —, E) unter den Rekruten aus den verschiedenen Herkunftsländern. Da zu vermuten ist, daß die Einwanderer aus den verschiedenen Ländern teils eine günstige und teils eine ungünstige Auslese nach der Begabung darstellen, darf man diese Ergebnisse zwar nicht einfach auf die Bevölkerungen der Herkunftsländer übertragen; trotzdem aber ist es sicher kein Zufall, daß die Länder der nordwestlichen Hälfte Europas ausnahmslos in der ersten Hälfte der Reihe stehen. Mancherlei andere Tatsachen, z. B. die Begabungsprüfungen von Dickson an kalifornischen Schulkindern europäischer Rasse sprechen durchaus im gleichen Sinne.

Einstweilen hat die amerikanische Einwandererkontrolle noch eine bedenkliche Lücke insofern, als eine ziemlich umfangreiche heimliche Einwanderung über die Tausende von Kilometern lange mexikanische Grenze stattfindet. Wenn aber erst einmal in allen Staaten die standesamtliche Registrierung und die polizeiliche Meldung der ortsanwesenden Personen durchgeführt sein wird, muß es selbstverständlich auch möglich sein, diesen Menschenschmuggel zu unterbinden.

Vor eine schwierige Frage ist die amerikanische Rassenpolitik durch die Existenz von 10 Millionen „Farbigen" in den Vereinigten Staaten gestellt, d. h. Negern und Negermischlingen, die in Amerika geboren sind und daher das Bürgerrecht haben. Tatsächlich werden die Farbigen keineswegs als gleichberechtigt behandelt; in den meisten Staaten ist auch die Ehe zwischen Farbigen und Weißen verboten; und das muß vom Standpunkt der Rassenhygiene gutgeheißen werden. Die Verteilung der verschiedenen Begabungsgrade unter weißen und farbigen Rekruten des amerikanischen Heeres zeigt die folgende Figur. Wenn man die Mischlinge aussondern könnte, würde der Unterschied in der Begabung der reinen Neger gegenüber den Weißen ohne Zweifel noch stärker hervortreten. Jedenfalls ist das Verbot von Mischehen zwischen Weißen und Farbigen wie überhaupt die

gesellschaftliche Aufstellung einer Grenzlinie der Farbe (colour line) eine Sache angewandter Anthropologie.

Ein wichtiges Gebiet des öffentlichen Lebens, auf dem die Erkenntnisse der menschlichen Genetik fruchtbar werden könnten, ist das Erziehungs- und Bildungswesen. Wie die alten Sophisten, so setzen auch die meisten unserer Zeitgenossen voraus, daß der Manneswert in erster Linie von der Bildung abhänge (daß „die Tugend (aretē) lehrbar" sei). Demgegenüber gilt es einzusehen, daß der Wert eines Menschen in allererster Linie von seiner ererbten Wesensart abhängig ist. Daß die verschiedenen Menschen quantitativ und qualitativ eine sehr verschiedene Bildungsfähigkeit haben, weiß zwar jeder Erzieher aus eigener Erfahrung; den praktischen Konsequenzen daraus aber weicht man vielfach noch aus. Die Zahl der „Gebildeten" ist heute größer als jemals; die Zahl der zu höherer Bildung Befähigten aber ist sicher nicht größer als früher, wahrscheinlich vielmehr schon kleiner. Infolge der Ausdehnung der „Bildung" auf einen immer größeren Teil der Bevölkerung ist das durchschnittliche Niveau unserer „Gebildeten" daher unvermeidlich gesunken. Das gesteht man sich aber nicht gern ein; man hängt vielmehr an der Illusion, das die Bildungsarbeit die Menschheit im Laufe der Generationen auf immer höhere Stufen führen werde. Diese Vorstellung setzt aber eine „Vererbung erworbener Eigenschaften" voraus und ist daher wie diese unhaltbar. Wenn die Kinder gebildeter Eltern im Durchschnitt begabter sind als die ungebildeter, so sind sie es nicht infolge der Ausbildung der Eltern, sondern weil sie von diesen Erbanlagen überkommen haben, die schon die Eltern zur Aneignung der Bildung befähigten. Erblich ist also die Bildungsfähigkeit, nicht aber der Bildungserfolg. Es ist daher völlig aussichtslos, das Menschengeschlecht durch Übung und Erziehung dauernd heben zu wollen.

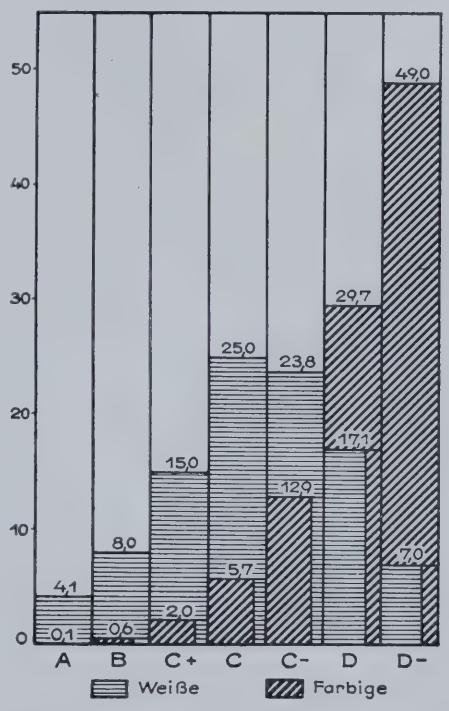


Abb. 284. Verteilung von 93973 weißen und 18891 farbigen amerikanischen Wehrpflichtigen auf die Intelligenzstufen.

Andererseits ist unser Bildungswesen, so wie es heute ist, mitschuldig am Niedergang der Rasse. Die Kinderzahl der akademisch Gebildeten reicht nur etwa halb zur Erhaltung der Familien aus. Akademische Bildung ist also heute gleichbedeutend mit halber Sterilisierung. Anstatt einer Steigerung der geistigen Leistungsfähigkeit des Volkes ist die Folge daher Volksverdummung. Dieser mit Recht so mißliebige Vorgang wird also nicht durch zu geringe Ausdehnung der Bildung, sondern zum guten Teil durch das Gegenteil herbeigeführt. Je mehr mittelmäßige Köpfe unsere

höheren Bildungsanstalten absitzen und in den höheren Berufen untergebracht werden, desto mehr wird der Lebensraum auch für die wirklich zu höherer geistiger Leistung Befähigten eingeengt, desto mehr gerade diese zu immer stärkerer Einschränkung ihrer Kinderzahl getrieben. Es liegt daher im Lebensinteresse der Nation, daß der Zugang zu den geistigen Berufen nur den wirklich dazu befähigten jungen Leuten offengehalten werde, einerseits damit die führenden Schichten auch wirklich aus Menschen, die zur Führung geeignet sind, bestehen, andererseits aber auch, damit die höherbegabten jungen Leute zur rechten Zeit in auskömmliche Stellen kommen und eine Familie gründen können. Mittelmäßige Köpfe können höchstens zu Bildungsphilistern erzogen werden und sie werden eben dadurch für ordentliche Leistung verdorben, während sie in einem andern Beruf vielleicht ganz Tüchtiges hätten leisten können.

Daraus ergibt sich unvermeidlich die Forderung, daß die begabten Kinder so früh wie möglich von den unbegabten gesondert werden müssen. Durch die allgemein verbindliche vierjährige Grundschule, die offensichtlich nicht aus wahrhaft sozialen Motiven, sondern aus dem Neid geboren ist, aber erreicht man genau das Gegenteil. Die begabten Kinder verlieren dadurch, daß sie vier lange Jahre mit den unbegabten zusammengesperrt werden, einen Zeitverlust, der nie mehr gutzumachen ist und der später in vielen Fällen verhängnisvolle Folgen hat. Besonders schlimm ist die Schädigung der begabten Kinder in den kleineren Gemeinden, wo keine besonderen Hilfsschulen für die schwachsinnigen Kinder vorhanden sind und wo die Unterrichtsmethoden der Volksschule daher auf die minderbegabten Kinder eingestellt sind; denn das Maß der Anforderungen richtet sich unvermeidlich immer vorzugsweise nach den unbegabtesten Kindern einer Klasse. In den Großstädten hat man wenigstens besondere Hilfsschulen für die ganz unbegabten Kinder. Hier ist also der Grundsatz der gleichen Erziehung für alle Kinder doch durchbrochen, bezeichnenderweise aber nur zugunsten der Schwachsinnigen, für welche in den Hilfsschulen mehr als das Doppelte an Mitteln je Kind aufgewandt wird als für die normalen Kinder in den Volksschulen. Man sollte wohl meinen, daß das, was für die schwachsinnigen Kinder als berechtigt angesehen wird, auch für die besonders begabten mindestens billig sei. Durch die Ausbildung der höherbegabten ist ungleich mehr zu erreichen; und später im Leben ist die Leistung der begabten Menschen von ganz besonderer Bedeutung für das Leben der Nation. Die Benachteiligung der begabten Kinder ist daher im höchsten Grade unsozial. Hier offenbart sich in erschreckender Weise die Lebensfeindlichkeit der Anschauungen jener Mehrheiten, von denen die Gestaltung unseres Unterrichtswesens abhängt.

Der Zeitverlust, den die Begabten in der Kindheit erleiden, wirkt sich in verhängnisvoller Weise im Alter der Reife aus. Auf die vier Jahre Grundschule folgen neun Jahre höhere Schule, wenn alles glatt geht, sonst sogar noch mehr. Nach Erledigung der höheren Schule sind die wissenschaftlich begabten jungen Leute also mindestens 19 Jahre alt. Dann aber beginnt für die meisten erst die eigentliche Berufsausbildung. Für den größten Teil kommen dann noch mindestens vier bis fünf Jahre Hochschulstudium und nach dessen Abschluß eine jahrelange Wartezeit wegen Überfüllung der geistigen Berufe. Vor dem 30. Jahre können auf diese Weise nur ganz wenige gerade von den Begabtesten heiraten. Das ist ein unhaltbarer Zustand.

Je länger die Ausbildungs- und Wartezeit, desto stärker ist die wirtschaftliche Belastung der Eltern und desto größer der Zwang zur Einschränkung der Kinderzahl. Je höher das Heiratsalter ist, desto größer ist aber auch die Gefährdung durch Geschlechtskrankheiten. Auf Grund einer Umfrage bei sämtlichen Ärzten Hamburgs wissen wir, daß dort im Jahre 1913 1,3% aller Männer zwischen 15 und 45 Jahren an Syphilis erkrankten. Wenn man aus dieser jährlichen Erkrankungshäufigkeit die Erkrankungswahrscheinlichkeit für das ganze Leben berechnet, so kommt man auf reichlich 40%. In Berlin gehen über 3% aller Männer allein an Paralyse zugrunde, d. h. einer bestimmten Art der Zerstörung des Gehirns durch Syphilis; im ganzen scheint in Berlin die Hälfte aller Männer an Syphilis zu erkranken. Noch wesentlich häufiger ist der Tripper, der als Ursache der Unfruchtbarkeit sogar eine noch größere Rolle als die Syphilis spielt. Zusammengenommen gehören Syphilis und Tripper zu den Hauptursachen des Aussterbens der gebildeten Familien.

Mit Moralisieren allein läßt sich dieses Unheil nicht überwinden. Gewiß darf auch der einzelne nicht von Verantwortung freigesprochen werden; für den einzelnen jungen Menschen ist die Vermeidung geschlechtlicher Ansteckung durch Enthaltsamkeit nicht undurchführbar. Niemals aber darf der, dem das Wohl des Volkes am Herzen liegt, darauf rechnen, daß die Gesamtheit oder auch nur die Mehrzahl der jungen Leute enthaltsam lebe. Und selbst, wenn man darauf rechnen könnte, wäre es ein höchst unnatürlicher Zustand, daß gerade die begabten jungen Leute erst mit 30 oder mehr Jahren heiraten können. Die ganze Frage ist so dringend, daß auch eingreifende soziale Umgestaltungen gerechtfertigt erscheinen. Es muß unter allen Umständen erreicht werden, daß die wirklich tüchtigen jungen Leute wenigstens mit 25 Jahren heiraten können. Rein physiologisch ist das zwar auch schon recht spät; aber die Willensstarken und Vorausschauenden würden dann wenigstens ein Ende absehen können; und das würde es ihnen wesentlich erleichtern, die Versuchungen und Gefahren, denen heute die Mehrzahl erliegt, zu vermeiden. Das ist psychologisch das Entscheidende.

Aus diesen und andern Gründen ist zu fordern, daß die Gesamtausbildungszeit soweit wie irgend tunlich abgekürzt werde. Für begabte Kinder würden 2 Jahre Vorschule (statt 4 Jahre Grundschule) durchaus genügen. Auch von der höheren Schule könnte bequem ein Jahr eingespart werden. Mit 16 oder 17 Jahren könnten dann die begabten jungen Leute die Hochschule beziehen. Gleichzeitig wäre eine scharfe Auslese nach der Tüchtigkeit durchzuführen. Mehr als die Hälfte von den jungen Leuten, die heute auf die Hochschule kommen, sind im Grunde für einen geistigen Beruf ungeeignet. Wir würden aber auch mit der Hälfte der Akademiker auskommen und sogar besser. Es ist daher zu fordern, daß schon zur Vorbereitung auf die verschiedenen akademischen Berufe nur so viele Anwärter zugelassen werden, als darin einen zur Familiengründung ausreichenden Lebensunterhalt finden können. Natürlich dürfte diese Beschränkung der Zahl nicht nach parteipolitischen oder konfessionellen Gesichtspunkten erfolgen, sondern nur nach Maßgabe der Befähigung. Die lange Wartezeit würde dann von selber wegfallen; die tüchtigen jungen Leute würden wieder mit 25 Jahren heiraten; und eine wesentliche Voraussetzung für das Gedeihen der begabten Familien wäre wiederhergestellt.

Die Pädagogik muß von der Biologie vor allem die Einsicht in die Grenzen der individuellen Anpassung lernen. Es steht nicht in menschlicher Macht, jeden jungen Menschen zu jeder Leistung zu erziehen. Sehr viel kann aber dadurch erreicht werden, daß der richtige Mann an den richtigen Platz kommt. Mit der geringeren Einschätzung der Möglichkeiten individueller Ausbildung muß also eine höhere Einschätzung der sozialen Auslese Hand in Hand gehen. Die Mitwirkung bei der sozialen Auslese muß geradezu als eine Hauptaufgabe der Schule erkannt werden. Im Grunde hat die Schule freilich immer schon in dieser Richtung gewirkt, wenn auch meist nur unbewußt und teilweise sogar wider Willen, da vielfach die Aufgabe darin gesehen wurde, möglichst alle Zöglinge zu der angestrebten „Reife" zu bringen. Tatsächlich erreichte auch bisher schon mehr als die Hälfte von denen, die in höhere Schulen eintraten, die sogenannte „Reife" nicht; und diese Auslesewirkung war und ist eine ihrer wertvollsten Leistungen. Auch aus diesem Grunde hat die vierjährige „Grundschule" einen Rückschritt gebracht, denn die soziale Auslese wird dadurch ungebührlich lange hinausgeschoben, und die begabten Kinder erleiden einen nie wieder gutzumachenden Zeitverlust. Demgegenüber ist zu fordern, daß unser ganzes Schulwesen auf möglichste Förderung der Begabten eingestellt wird. Natürlich bedeutet das zugleich, daß der soziale Aufstieg der Unbegabten nicht gefördert werden darf. Mittelmäßige Köpfe in den höheren Berufen wirken schädlich, in führenden Stellungen sogar verhängnisvoll. Auch die Hilfsschulen für geistig nicht vollwertige Kinder wirken insofern biologisch schädlich, als sie dazu beitragen, daß viele ihrer Zöglinge einen Beruf ausüben und eine Familie gründen können. Man kann natürlich die schwachsinnigen Kinder nicht einfach ihrem Schicksal überlassen; es sollte aber dafür gesorgt werden, daß sie sich nicht vermehren. Von allen Hilfsschülern und ebenso von allen Fürsorgezöglingen sollten genaue Personalbogen geführt werden, die als Unterlagen für die Frage ihrer Sterilisierung dienen könnten. Weil man nicht biologisch denken gelernt hat, sieht man einstweilen aber der Vermehrung der Minderwertigen und dem Aussterben der Begabten tatenlos, ja sogar verständnislos zu.

Auch in der Frage der körperlichen Erziehung hat die angewandte Anthropologie ein gewichtiges Wort mitzureden. Die Körpermessungen zum Zweck des Studiums der individuellen Folgen der Leibesübungen gehören freilich nicht zur Anthropologie, wie schon oben dargelegt wurde. Die Erbmasse wird durch die Erfolge der körperlichen Erziehung natürlich ebensowenig verbessert wie durch die der geistigen. Auch die körperliche Erziehung hat auf die Rasse nur auf dem Umwege über die Auslese eine Wirkung. Wenn vernünftig betriebene Leibesübungen der Erhaltung der Gesundheit begabter junger Leute dienen, so ist das auch ihrer Fortpflanzung förderlich. Wenn durch Einschränkung der scholastischen Fächer die Überlastung des Gedächtnisses vermindert wird, so kommt das der späteren geistigen Leistungsfähigkeit zugute. Und wenn die jungen Leute ihre freie Zeit auf dem Sportplatz statt in der Kneipe verbringen, so verringert das die Gefahren des Alkoholismus und der Geschlechtskrankheiten, durch die so zahlreiche Akademiker aus dem Lebensstrom der Rasse ausgeschaltet werden. Die Begeisterung für körperliche Ertüchtigung dürfte auch die Ehewahl günstig beeinflussen. Andererseits aber ist nicht zu verkennen, daß ausgedehnte sportliche Betätigung der Fortpflanzung ab-

träglich ist. Schwangerschaft und Kinderaufzucht vertragen sich nicht gut mit Sportsleistungen. Begeisterte Sportsdamen haben daher meist wenig oder gar keine Kinder. Junge Leute, die einen großen Teil ihrer Zeit dem Sport widmen, erleiden dadurch öfter eine Verzögerung ihrer Berufsausbildung. Nicht wenige große Sportsleute verfehlen eben infolge ihrer Sportsleistungen überhaupt einen soliden Lebensberuf. Auch an die tödlichen Unfälle muß in diesem Zusammenhang erinnert werden. Hochtouren, Faltbootfahrten, Skispringen, Schwimmen kosten alljährlich einer ganzen Anzahl tüchtiger junger Menschen das Leben. Ich bin der Letzte, der den Wagemut der Jugend nicht schätzen würde; man muß sich aber klar darüber werden, daß eben durch den Tod so vieler wagemutiger junger Menschen, eine Züchtung in der Richtung auf Ängstlichkeit stattfindet. Das Ideal der Kraft und Schönheit in allen Ehren; der Königsweg zu Kraft und Schönheit aber geht über die Auslese.

Da, wie oben dargelegt wurde, das größte Hemmnis für die Durchführung einer großzügigen Rassenhygiene in der biologischen Unbildung unserer „Gebildeten" liegt, so ist eine der wichtigsten Forderungen der angewandten Anthropologie an das Erziehungs- und Bildungswesen die, daß schon auf der Schule die Grundlage zu einer soliden biologischen Bildung gelegt werde. Sehr schön heißt es in einer Denkschrift des preußischen Kultusministeriums vom Jahre 1924: „Die mehr geistesgeschichtlich eingestellten Schularten bedürfen dringend als Gegengewicht gegen die Gefahr einer Ideologie klarer Einsicht in die lebensgesetzlichen Zusammenhänge und in die naturgesetzlichen Bedingtheiten aller Kultur. Gerade der historisch gebildete Mensch muß sich seiner Verwurzelung in der Natur und Naturwissenschaft bewußt sein. Ohne die in der Naturwissenschaft und in der Erdkunde zu legende Grundlage der Natur- und Lebensgesetzlichkeit für das Personenleben, die Soziologie, die Geschichte entbehren die Kulturwissenschaften des festen Wirklichkeitsgrundes, in dem sie wurzeln müssen. Denn auch die Kulturleistung eines Volkes liegt innerhalb der Grenzen des Naturlebens." Leider ist es bei diesen schönen Worten geblieben. Im wesentlichen herrscht auf den Gymnasien und Realgymnasien noch der Zustand, der im Jahre 1879 durch den Kultusminister Falk herbeigeführt wurde. Damals wurde nämlich aus Angst vor dem „Darwinismus" nicht nur den Lehrern jedes Eingehen darauf verboten, sondern der biologische Unterricht aus den oberen Klassen überhaupt verbannt. In diese Mauer, welche die Jugend von der modernen Biologie abschließt, ist zwar später insofern eine Bresche gelegt worden, als in den Oberrealschulen biologischer Unterricht in zwei Wochenstunden bis zur obersten Klasse erteilt wird. Die Hauptmasse der Jugend aber wird nach wie vor davon ferngehalten. Daraus erklärt sich die fast völlige Verständnislosigkeit auch unserer „Gebildeten" gegenüber den Gesetzen und Forderungen des Lebens. An dieser biologischen Verständnislosigkeit aber droht die Rettung der Rasse zu scheitern.

Auch unsere Hochschulen stehen in dieser Beziehung durchaus nicht auf der Höhe der Zeit. Zwar ist an allen Universitäten Gelegenheit zur Ausbildung in der Biologie gegeben; aber da wegen der Fernhaltung der Biologie von den höheren Schulen nur wenige Akademiker biologische Bildung für ihren Brotberuf gebrauchen können, ändert das nicht viel an der allgemeinen biologischen Unbildung. Selbst die meisten Mediziner werden weder mit der allgemeinen Biologie noch mit der

menschlichen Genetik und Rassenhygiene während ihres Studiums vertraut. Unsere akademische Bildung ist in dieser Hinsicht um ein Menschenalter hinter dem Stande der Wissenschaft zurückgeblieben. Demgegenüber ist zu fordern, daß nicht nur die Mediziner, sondern alle Akademiker, die zur Führung im öffentlichen Leben berufen sind, sich mit den biologischen Grundlagen des Lebens der Völker bekannt zu machen haben. Besonders notwendig ist das für die Lehrer und Erzieher, die Volkswirtschaftler, die Juristen, die Historiker, die Theologen. Eine Voraussetzung ist natürlich, daß an allen Hochschulen Lehrstühle für menschliche Genetik und Rassenhygiene eingerichtet werden. Dringend erwünscht wäre es natürlich auch, daß die gewählten Vertreter des Volkes, welche in den gesetzgebenden Körperschaften über die Gestaltung des öffentlichen Lebens entscheiden, mit den biologischen Grundlagen ihrer Aufgabe vertraut wären; aber diese Forderung ist einstweilen so weit von ihrer Verwirklichung entfernt, daß schon ihre Aufstellung als lächerlich erscheinen dürfte.

Wie das Erziehungs- und Bildungswesen eine Umgestaltung in dem Sinne erfahren muß, daß die Träger tüchtiger Erbanlagen auch biologisch gefördert werden, so sollte der Staat auch das höchste Interesse daran haben, daß seine Beamtenpolitik darauf eingestellt wird. Wie die Beamtenbesoldung in diesem Sinne umzugestalten wäre, wurde schon oben ausgeführt. Durch Beschränkung der Anwärter auf öffentliche Anstellungen unter strenger Auswahl nach Tüchtigkeit würde sich die schädliche Wartezeit im wesentlichen beseitigen lassen. Verheiratete Beamte sollten bei sonst gleicher Qualifikation in der Anstellung und Beförderung vor unverheirateten bevorzugt werden, Beamte mit Kindern vor kinderlosen. Eine Politik, die in erster Linie auf die Erhaltung und Vermehrung der tüchtigen und begabten Familien gerichtet ist, ist zugleich die beste Bevölkerungspolitik und die beste Kulturpolitik. So wie heute die Dinge liegen, ist der Verzicht auf Familiengründung oder doch auf rechtzeitige Familiengründung beinahe eine Bedingung der akademischen Laufbahn. Und doch wäre das nicht nötig. Wir haben gewiß nicht einen solchen Überfluß an hohen Begabungen, daß wir den gegenwärtigen Raubbau unbegrenzt weiter treiben dürften.

In diesem Zusammenhang ist auch eine kurze Betrachtung der Frauenfrage angezeigt. Die sog. Frauenbewegung hoffte, daß die Zugänglichmachung der geistigen Berufe für die Frau wesentlich zur Lösung der Frauenfrage beitragen werde. Diese Hoffnung hat sich indessen nicht erfüllt. Vielmehr ist die Frauenfrage, welche ihren Kern in dem Umstande hat, daß bei ausschließlicher Einehe ein großer Teil der Mädchen aus den gebildeten Ständen keinen Mann findet, durch die Tätigkeit der Frau in geistigen Berufen eher verschärft worden. Durch die Besetzung zahlreicher Stellen in den höheren Berufen durch Frauen wird eben einer fast ebenso großen Zahl von Männern die Möglichkeit zur Familiengründung entzogen und damit einer entsprechenden Zahl von Mädchen die Möglichkeit der Heirat. Dabei finden die allermeisten berufstätigen Frauen in ihrem Beruf keine wirkliche Befriedigung. Eine amerikanische Berufsberaterin hat aus ihrer langjährigen Erfahrung an einer Universität geradezu erschütternde Tatsachen darüber mitgeteilt. Die normale Frau kann eben im Beruf keinen wirklichen Ersatz für Ehe und Mutterglück finden. Die von der Frauenbewegung angestrebte Lösung der Frauenfrage ist daher nicht

wahrhaft sozial, sondern individualistisch. Die Lage der Gesamtheit der Frauen ist dadurch nur unglücklicher geworden. Die Familie als Grundlage des Staates hat eine schwere Beeinträchtigung erfahren; und die Rasse erleidet den Verlust zahlreicher Erbstämme von ausgesuchter Begabung und Tüchtigkeit. Man muß den Tatsachen ins Auge sehen: Da die Zahl der auskömmlichen Stellen in den höheren Berufen unvermeidlich eine begrenzte ist, würde das Schicksal der Frauen im ganzen leichter sein, wenn es keine oder nur wenige in geistigen Berufen tätige Frauen gäbe. Die Zulassung der Frauen zu den akademischen Berufen war daher, sozial gesehen, ein Fehler. Natürlich kann man diesen Fehler, der aus dem individualistischen Zuge der Zeit mit Notwendigkeit sich ergab, nicht einfach ungeschehen machen. Durch eine zielsichere Familienpolitik von seiten des Staates würde der Frauenfrage aber viel von ihrer Schärfe genommen werden können. Wenn die tüchtigen jungen Männer durch Abkürzung der Ausbildungszeit, Wegfall der Wartezeit und Besoldung nach dem Familienstande in die Lage versetzt werden würden, zur rechten Zeit zu heiraten, so würde ein wesentlich größerer Teil der Mädchen aus den gebildeten Familien heiraten. Außerdem würden nicht so viele Männer wie heute durch erworbene Krankheit und durch allzu langes Junggesellenleben eheuntauglich bzw. eheunwillig werden. Und jenen Mädchen, die aus irgendeinem Grunde für die Ehe nicht geeignet sind, würde das Unterkommen in einem Beruf erleichtert werden, da sie viel weniger Konkurrentinnen haben würden.

Auch für mancherlei andere Fragen der *inneren Politik* kann die angewandte Anthropologie fruchtbare Gesichtspunkte bieten. Die sozialen Gegensätze würden viel von ihrer Schärfe verlieren, wenn man allgemein einsehen würde, daß die sozialen Übel nicht nur in einer falschen Wirtschaftsordnung oder in Mängeln der Erziehung, auch nicht in erster Linie in Bosheit oder Unfähigkeit der Regierenden begründet liegen, daß die Wurzel des Übels vielmehr in der biologischen Unzulänglichkeit nur allzuvieler Menschen liegt, daß aber auch diese Wurzel des Übels durch zielbewußte Arbeit im Laufe der Generationen beseitigt werden kann. Die Rassenhygiene ist also ein zwar langsamer, zugleich aber der einzig sichere Weg zur Lösung der sozialen Frage.

Wenn die Beziehungen der Rassenfrage zur *Politik* erörtert werden, so hat man vielfach zu einseitig die Unterschiede der großen Rassen im Auge. In den letzten Jahren hat der sog. „nordische Gedanke" zahlreiche Anhänger gewonnen. Auf Grund der Vorstellung, daß unsere germanischen Vorfahren im wesentlichen der schlanken blonden Rasse, die als „nordische" bezeichnet wird, angehört haben und daß durch die stärkere Vermehrung anderer Rassenelemente ein Niedergang der Bevölkerung verschuldet werde, haben *Günther* und andere die Forderung einer „Wiedervernordung" unseres Volkes erhoben. Nach dem, was oben über die Beziehungen zwischen äußeren Rassenmerkmalen und psychischen Anlagen ausgeführt worden ist, sind äußere Merkmale wie die Augenfarbe, die Haarfarbe und die Kopfform aber wenig geeignet, die seelische Wesensart eines Menschen zu beurteilen. Auf die Seele aber kommt es selbstverständlich in erster Linie an. Der Maßstab, nach dem die Rassenhygiene den Wert eines Menschen beurteilt, kann nur die Leistungsfähigkeit und die tatsächliche Leistung im Dienste der Gesamtheit und der Kultur sein. Natürlich ist die soziale Tüchtigkeit nicht nur durch Anlagen

des Verstandes, sondern auch nicht minder durch solche des Charakters und Gemüts bedingt. Auf die seelische Tüchtigkeit gestatten die äußeren Rassenmerkmale aber keinen sicheren Schluß. Andererseits müßte man schon absichtlich die Augen verschließen, um zu verkennen, daß unser Volk einen großen Teil einer wertvollsten Anlagen dem Erbe der nordischen Rasse verdankt. Wie die praktischen Amerikaner dieses nordische Erbe schätzen, wurde weiter oben gezeigt. Eine Lösung, die allen Teilen gerecht wird, dürfte die sein, daß die einzelnen Individuen, Familien und sozialen Gruppen eben nach Maßgabe ihrer Leistung, aber ohne Rücksicht auf ihre äußeren Rassenmerkmale, als der Erhaltung und Vermehrung würdig angesehen werden. Wenn unser Volk seine tüchtigen Erbanlagen vorzugsweise der nordischen Rasse verdankt, und ich glaube, daß das so ist, so würde durch eine derart wertende Rassenhygiene das Erbe der nordischen Rasse in erster Linie bewahrt und vermehrt werden. Dagegen kann niemand etwas haben. Auch die wertvollen Rassenanlagen der Juden können für das Leben der Gesamtheit in mannigfacher Hinsicht von Nutzen sein. Der Rassenhygieniker hat es also nicht nötig, Antisemit zu sein. Andererseits ist es ein unleidlicher Zustand, daß die Juden dem „geistigen Leben der Nation" in der Weise ihren Stempel aufdrücken, wie es tatsächlich der Fall ist; und es liegt im eigenen Interesse der deutschen Juden, dahin zu wirken, daß jeder Staatsbürger an die ihm seiner sachlichen Leistung nach gebührende Stelle kommt und daß er sich dort so betätigt, wie es für die Gesamtheit zuträglich ist.

Auch die äußere Politik kann von den Erkenntnissen angewandter Anthropologie auf die Dauer nicht unberührt bleiben. So hat das amerikanische Einwanderungsgesetz selbstverständlich auch außenpolitische Konsequenzen. Weil die Amerikaner den Japanern ganz und den Italienern fast ganz die Einwanderung verwehren, müssen sie einen politischen Gegensatz zu Japan und Italien in Kauf nehmen. Ich habe schon oben betont, daß es über alle nationalen Gegensätze hinweg ein gemeinsames objektives Interesse der Völker weißer Rasse gibt; und dieses Interesse der Rasse muß gegebenenfalls natürlich auch mit den Mitteln der äußeren Politik gewahrt werden. Bisher haben sich die Völker weißer Rasse allerdings in der Hauptsache immer gegenseitig zerfleischt. Im Weltkriege sind im ganzen über 10 Millionen ausgesucht tüchtiger Männer gefallen; und die beteiligten Nationen haben dadurch eine Beeinträchtigung ihrer Rassentüchtigkeit erlitten, die vielleicht nie mehr gutgemacht werden wird, jedenfalls nicht ohne eine durchgreifende Rassenhygiene. Wenn alle verantwortlichen Staatsmänner sich der furchtbaren Tragweite dieser Rassenverschlechterung bewußt gewesen wären, so wäre der Welt der entsetzliche Wahnsinn dieses sinnlosen Krieges wohl erspart geblieben. Das kann man meines Erachtens ohne Übertreibung sagen. Der Mangel an rassenbiologischer Bildung ist also auch eine der Ursachen des Weltkrieges gewesen. Ich möchte nicht den Eindruck erwecken, als folge aus der Einsicht in die rassenbiologische Wirkung des Krieges ein Pazifismus um jeden Preis. Es kann Situationen geben, wo ein Krieg gerade wegen der Zukunft der Rasse unvermeidlich ist. Im Weltkrieg aber traf das für keine der beteiligten Nationen zu; und keine hat einen Gewinn davon gehabt, der die Schäden, die der Krieg ihrer Rassentüchtigkeit geschlagen hat, auch nur entfernt ausgleichen könnte. Die Römer haben bekanntlich den größten Teil der damals bekannten Welt erobert; und als sie mit der Welteroberung fertig waren, da war

diese sinnlos geworden, weil die Rasse der alten Römer dabei aufgerieben worden war. Darum hat das römische Weltreich auch keinen dauernden Bestand gehabt.

Da das deutsche Volk nach dem unglücklichen Ausgang des Weltkrieges nicht mehr die Freiheit des Handelns hat, die es vorher hatte, kommt eine großzügige Außenpolitik für uns einstweilen nicht in Betracht. Die große Politik der Gegenwart wird von drei Mächtegruppen bestimmt, von Frankreich und seinen Trabanten, von England und den Vereinigten Staaten. Daß zwischen England und Amerika ein Krieg ausbrechen könnte, halte ich für ziemlich ausgeschlossen, da das britische Weltreich darüber in Trümmer gehen würde. Und darauf werden es die nüchternen Engländer nicht ankommen lassen. Situationen und Stimmungen des Augenblicks ändern nichts daran. Ein Krieg zwischen England und Frankreich bzw. den von ihnen geführten Mächtegruppen dagegen liegt auf die Dauer durchaus nicht außerhalb des Bereiches der Möglichkeit; und was den Ausgang betrifft, so spricht die größere Wahrscheinlichkeit dafür, das daß britische Weltreich, auf dessen Seite auch wohl Italien stehen würde, siegreich sein würde. Das biologische Interesse des deutschen Volkes würde voraussichtlich relativ am besten gewahrt werden, wenn es in einem neuen Weltkrieg neutral bleiben könnte, was freilich nicht leicht sein würde, da Frankreich und seine Trabanten alles aufbieten würden, um es zur Aufgabe der Neutralität zu zwingen. Zwischen dieser Mächtegruppe und dem deutschen Volk bestehen lebenswichtige Interessengegensätze, gegenüber England trotz aller Wirtschaftskonkurrenz aber nicht. Wenn daher Deutschland gezwungen sein sollte, zwischen beiden Mächtegruppen zu wählen, so sprechen sowohl die Aussichten über den Ausgang als auch die biologischen Interessen für eine Wahl zugunsten Englands und Amerikas. Das fühlt man heute ja auch instinktiv in weiten Kreisen. Die größere Rassenverwandtschaft mit den Angelsachsen ist dabei noch nicht einmal berücksichtigt. Im übrigen ist der Krieg rassenbiologisch immer ein Übel, wenn auch gelegentlich ein unvermeidliches. Es ist daher auch eine Aufgabe angewandter Anthropologie, auf möglichste Vermeidung des Krieges bedacht zu sein. Dieses Ziel kann freilich nicht einfach durch Einschränkung der Rüstungen und nachgiebige Politik erreicht werden. Wenn England und Amerika heute abrüsten würden, so würde die Gefahr eines neuen Weltkrieges dadurch nur vergrößert werden. Wie Alfred Ploetz, der Begründer der deutschen Rassenhygiene, betont hat, würde ein dauernder Friede am sichersten dadurch gewährleistet werden, daß starke Mächte sich zu einem unangreifbaren Schutz- und Trutzbündnis zusammenschließen würden. Ein angelsächsischer Bund zwischen den Vereinigten Staaten und dem Britischen Reich, zwischen denen keine wirklich vitalen Gegensätze der Interessen bestehen, würde der Welt seinen Frieden bringen können. Und an der Seite diese Mächte würde auch der beste Platz der germanischen Völker des europäischen Festlandes sein. Wenn diese Einsicht sich vor einigen Jahrzehnten durchgesetzt hätte, so wäre der Welt die größte Katastrophe aller Zeiten erspart geblieben.

Über die besprochenen Möglichkeiten ihrer praktischen Anwendung hinaus ist die menschliche Genetik berufen, auch auf eine Reihe theoretischer Wissenschaften befruchtend und zum Teil sogar umgestaltend zu wirken, so auf die Geschichte, die Volkswirtschaftslehre, die Gesellschaftslehre, die Rechtslehre, die Psychologie. In den meisten dieser Wissenschaften ist die Auswertung der modernen genetischen

bzw. anthropologischen Erkenntnisse bisher noch kaum versucht worden. Von höchster Bedeutung muß und wird die Anthropologie auch für die Ethik bzw. die Werttheorie werden.

Die Anschauungen über das, was gut und böse bzw. schlecht ist, sind ja nicht nur eine Grundlage der Sitte und des Rechts, sondern auch der Wirtschaft, der Gesellschaftsordnung, des Staates, kurz des gesamten sozialen Lebens. Alle Unterscheidung von Gut und Schlecht, alle Wertung setzt ein letztes und allgemeines Prinzip des Wertes voraus. Was dieser höchste Wert, das letzte Ziel, der tiefste Sinn des Lebens aber sei, kann die Biologie nicht entscheiden. Die Biologie wie alle Naturwissenschaft handelt eben nur von dem, was ist oder geschieht, nicht von dem, was sein oder geschehen soll. Ob das Leben überhaupt einen Wert habe, kann die Biologie nicht entscheiden. Die Ansicht, daß das Leben besser nicht wäre, wie sie besonders Schopenhauer vertreten hat, läßt sich wissenschaftlich weder widerlegen, noch begründen. Die Konsequenz, daß alles Leben vom Übel sei, wäre der freiwillige Tod. Schopenhauer hat diese Konsequenz nicht gezogen und dafür den etwas fadenscheinigen Grund angegeben, daß durch den individuellen Tod die Erlösung der Welt vom Übel doch nicht erreicht werden könne. Im Grunde war offenbar auch er nicht vom Unwert alles Lebens überzeugt. Wenn aber aus der Lehre vom Unwert des Lebens nicht die Folgerung des individuellen Todes gezogen wird, so folgt daraus auch nicht der Verzicht auf individuelle Fortpflanzung als sittliche Pflicht. Im Gegenteil, wenn die einsichtigen Menschen auf Nachkommenschaft verzichten, so wird die Lage der Menschheit im ganzen dadurch nur noch schlimmer. Auch aus der pessimistischen Auffassung folgt also, daß es besser ist, daß die tüchtigen und hochgearteten Menschen sich fortpflanzen und daß die schwachen und entarteten in der Fortpflanzung gehemmt werden. Schopenhauer selber hat sich denn auch dahin ausgesprochen, daß eine wirkliche Veredlung des Menschengeschlechts „nur auf dem Wege der Generation" d. h. der Rassenhygiene möglich sei. Erst recht muß jeder, der das Leben im ganzen bejaht, zur Rassenhygiene kommen.

Obwohl also die Biologie ein letztes Ziel des Lebens nicht begründen kann, liefert sie uns doch die wesentlichste Grundlage für alle Ziele, die über das rein individuelle Leben hinausgehen. Leider sehen das heute erst wenige Menschen ein. Man ist stolz auf den Fortschritt der Wissenschaft und Technik und der „Kultur" überhaupt. Man übersieht aber, daß dieser Fortschritt durchaus nicht außer Frage steht, ja daß durch den Raubbau an den besten Rassenelementen gleichzeitig der ganze stolze Bau untergraben wird, so daß es nur eine Frage der Zeit ist, wann er zusammenstürzen wird, wenn die Dinge so weitergehen. Darin Wandel zu schaffen, ist die wesentlichste Aufgabe angewandter Anthropologie; und sie ist angewandte Wissenschaft auch in dieser Hinsicht, weil sie nur das Mittel zu einem schon vorausgesetzten Zweck liefert, allerdings das wesentlichste Mittel.

Die bisherige Moral war im wesentlichen individualistisch eingestellt. Sie diente dazu, die Beziehungen der Individuen zu regeln; das Wohl der Individuen bzw. der Gesamtheit von Individuen war ihr wesentlichstes Ziel. Die Erhaltung der überindividuellen Gesamtheit war dadurch früher gewährleistet, ohne daß es besonderer moralischer Satzungen in dieser Hinsicht bedurfte. Die Kinder stellten sich eben ganz einfach als Folgen der natürlichen Befriedigung der Triebe ein. Seitdem

die Menschen gelernt haben, die Fortpflanzung von der Lust der Begattung zu trennen, gewährleistet die individualistische Moral aber nicht mehr das Gedeihen der organischen Gesamtheit. Von diesem Zeitpunkt an sind Unterschiede der Fortpflanzung, zumal solche zwischen den verschiedenen Elementen derselben Bevölkerung, viel bedeutungsvoller als selbst der Gewinn oder Verlust großer Kriege. Während aber der Einsatz des Lebens im Kriege von der überlieferten Moral als Pflicht verlangt und befolgt wird, gilt die Fortpflanzung als Privatsache des Einzelnen, die der moralischen Beurteilung nicht unterliegt. Wenn die Volksgesamtheit gedeihen soll, ist also eine Umstellung bzw. Ergänzung der Moral nötig, und zwar nicht nur der individuellen, sondern auch der sozialen Moral, die den öffentlichen Einrichtungen zugrundeliegt.

Wie die überlieferte Wertlehre über dem Individuum die organische Gemeinschaft vernachlässigt hat, so hat sie über den äußeren Gütern die Sorge für das biologische Gedeihen vernachlässigt. Die Bedeutung der Kriege z. B., die man als in erster Linie entscheidend über das Schicksal der Nationen ansieht, beurteilt sie ganz einseitig nach dem Gewinn oder Verlust an Land und andern Wirtschaftsgütern, während die Menschenverluste wenigstens in ihrer biologischen Bedeutung kaum in Rechnung gestellt werden. Auch die Moral und das Recht sind ganz vorwiegend wirtschaftlich orientiert; das gilt sogar von dem Ehe- und Familienrecht und der ihm zugrundeliegenden Moral. Die Menschen sah man bisher eben als etwas an, um dessen Erzeugung sich die Moral nicht zu kümmern brauche. Und daß es in die Hand der gegenwärtigen Menschen gelegt ist, was für Menschen in Zukunft leben werden, hat man bisher überhaupt kaum gesehen. Man nahm die Menschen eben als gegeben hin und glaubte, daß Erziehung und Wirtschaft das einzige sei, was das Los der Menschen verbessern könne. Man hat also über der Umwelt den Menschen selbst vergessen. Sobald wir aber erkennen, daß auch die erbliche Beschaffenheit, d. h. die eigentliche Wesensart der künftigen Menschen wesentlich davon abhängig ist, welche von den gegenwärtigen Menschen sich fortpflanzen und in welchem Ausmaße sie es tun, sind wir auch verantwortlich für die künftige Menschheit in ihrem Sein. Die geistige Umstellung, welche diese Erkenntnis bedingt, ist gewiß nicht geringer als die, welche die Erkenntnis des Kopernikus zur Folge hatte. Ob sich die Erde um die Sonne oder die Sonne um die Erde bewegt, ist für unser praktisches Handeln ziemlich gleichgültig. Die biologische Erkenntnis aber gibt uns die Mittel an die Hand, mittels deren wir die Menschheit nicht nur von den ererbten Leiden und Schwächezuständen befreien, sondern darüber hinaus auch auf eine Höhe führen können, die sie noch nie erreicht hat. Diese Erkenntnis ist berufen, ein neues Weltgefühl heraufzuführen. Der Schwerpunkt des Lebens wird aus der Umwelt in die Erbmasse des Menschen verlegt. Dort liegt die Hauptaufgabe der moralischen Betätigung.

Nicht, daß damit die Umwelt bedeutungslos geworden wäre. Der Weg zur Gestaltung der Erbmasse führt vielmehr gerade über die Umwelt. Die Wirtschaftsordnung muß so gestaltet werden, daß sie der Fortpflanzung der Tüchtigen nicht mehr hinderlich, sondern vielmehr ihr förderlich ist. Und die Erziehung ist berufen, jene soziale Moral herbeizuführen, die die rassenhygienische Gestaltung der Wirtschafts- und Gesellschaftsordnung ermöglicht. Die individuelle Moral wendet sich

an den einzelnen Menschen und sagt: sei gut. Ihrer Wirkung sind aber unübersteigliche Grenzen in der ererbten Eigenart der einzelnen Menschen gesteckt. Nur zu viele Menschen müßten von neuem geboren werden, um ihren Forderungen genügen zu können. Eine Änderung der Veranlagung der Bevölkerung im Laufe der Generationen aber ist unzweifelhaft möglich. Die Rassenhygiene wird damit zur zentralen Aufgabe der sozialen Moral.

Die abendländische Kultur steht heute vor ihrem Bankrott, weil sie ihre eigene organische Grundlage untergräbt. Wenn das ein unabwendbares Schicksal wäre, so müßten wir uns damit abfinden; aber was das schmerzlichste ist: wir sind im Begriff, leichtfertig unsere Zukunft zu verscherzen, infolge einer Unkenntnis, die nach dem Stande der Wissenschaft keineswegs mehr gerechtfertigt ist. Das soll nicht sein. Dieser Unkenntnis abzuhelfen ist die höchste Aufgabe einer angewandten Anthropologie.

* * *

Zehnter Teil

Angewandte Geographie

Von Prof. Dr. Oskar Kende

Gliederung des zehnten Teiles

Seite

I. Die kulturelle Gliederung des Menschengeschlechtes 583
II. Grundzüge der politischen Geographie 592
III. Die Siedlungen 599
IV. Die Volksdichte 609
V. Verkehrswege und Verkehrsmittel 612

Einleitung.

Angewandte Geographie setzt reine Geographie als Wissenschaft voraus. Sie ist In-den-Dienst-Stellung geographischer Erkenntnis für die Fragen des praktischen Lebens, ihre Betrachtung unter geographischen Gesichtspunkten. Es handelt sich hierbei im wesentlichen um die gewöhnlich als Anthropogeographie bezeichneten Beziehungen zwischen Erde und Menschen, sei es um dessen erdbedingte kulturell-wirtschaftlichen Differenzierungen, sei es um Formen menschlicher Besitznahme des Erdraumes in Staaten und Siedlungen, sei es schließlich, daß die Erde vornehmlich als wirtschaftliches Arbeitsfeld des Menschen ins Auge gefaßt wird. Diese Gegenstände sollen auch, sofern sie nicht wie die Besprechung der nutzbaren Pflanzen, Tiere und Gesteine aus praktischen Gründen anderen Gruppen zugewiesen wurden, hier zur Darstellung kommen.

I. Die kulturelle Gliederung des Menschengeschlechtes.

Das Bestreben, zu klassifizieren, periodisieren, systematisieren, liegt dem wissenschaftlichen Menschen im Blute. So ringt der Geist nach Ordnung und Herrschaft über die unabsehbare Fülle und Mannigfaltigkeit der Erscheinungen. Er spürt kausalen Verbindungen nach und sieht in sich geschlossene Entwicklungen, wo oft nichts als ein Nebeneinander vorliegt oder gar das wirkliche Werden in der umgekehrten wie in der konstruierten Richtung sich vollzogen hat. Aber Widerlegungen von Lehrmeinungen, der Nachweis ihres Problemcharakters, können naturgemäß an jenem wissenschaftlichen Grundstreben nichts ändern; es bleibt und sucht sich beständig neue Nahrung. Ein gutes Beispiel für das Gesagte bilden die Theorien der sogenannten Kultur- bzw. Wirtschaftsstufen, welche aus der Tatsache der Verschiedenheit bestehender und historisch bekannter volklicher Kulturhöhen bzw. Wirtschaftsformen, d. i. kultureller und wirtschaftlicher Betätigungsweisen trotz fließender, ineinander übergreifender Grenzen, scharf umprägte Einheiten mit bestimmten Abhängigkeiten voneinander und eine Regelmäßigkeit gewisser Abfolgen, also ein sicheres Nach- und Auseinander, herauslesen möchte. Das geläufigste Schema ist der Dreistufensatz: a) Jäger (und Fischer), b) Hirten-Viehzüchter (oder Nomaden) und c) seßhafte Ackerbauer, ein Schema, das sich bereits im Altertum und dann auch später wieder, z. B. bei Ad. Smith (1776) findet. Für die letzte Gruppe der seßhaften Ackerbauer wird dann weiter die Abfolge nach aufwärts fortgesetzt: Bruno Hildebrand unterschied 1864 Natural-, Geld- und Kreditwirtschaft, K. Bücher stellte 1897 die Reihe auf: geschlossene Haus-

wirtschaft, Stadtwirtschaft und Volkswirtschaft. Einen Vierstufenbau errichtet Ernst Friedrich (1904 und später), indem er die Kulturstufen a) der reflexiv, b) der instinktiv, c) der traditionell (herkömmlich), d) der bewußt-rationell geleiteten Kulturäußerungen sondert und ihnen analoge Wirtschaftsstufen [a) der Sammelwirtschaft, b) des Instinktes, c) der Empirie und Tradition, d) der Wissenschaft und Technik] entsprechen läßt. Die tiefste Kulturstufe scheint ihm gegeben, wenn die kulturellen Äußerungen (z. B. die gesellschaftliche Unterordnung unter den Stärksten in der Stunde der Gefahr) ohne das Bewußtsein ihrer Zweckmäßigkeit erfolgen. Die zweite, höhere, wenn die Ausbildung der Kulturformen instinktmäßig geschieht, instinktiv eine gewisse staatliche Ordnung geschaffen, die Sprache bereichert, die Wirtschaft auf eine festere Grundlage gestellt wird. Die dritte Stufe wird gewonnen, das Herkommen regiert, wenn in bedeutenderem Umfang für die mündliche, bildliche, schriftliche Überlieferung der Erfahrungen vergangener Geschlechter und so für die Häufung des kulturell Zweckmäßigen gesorgt wird; läßt man sie nicht in Erstarrung übergehen, indem man beständig alle Kulturformen auf ihre jeweilige Zweckmäßigkeit, auf ihre rationelle Gestaltung durchprüft, so ist die höchste Kulturstufe (an deren Schwelle Westeuropa und Nordamerika stehen) erstiegen. F. Krause (1924) beschreibt und verknüpft miteinander sechs Wirtschaftsformen. Die ursprünglichste ist jene der (primär) primitiven Sammler und Jäger, die nicht minder Nahrungsnot als eine geringe Entwicklung des geistigen und seelischen Lebens zum beständigen Wandern zwingt; der Mann jagt und schützt seine Familie vor gefährlichen Tieren, die Frau sammelt Pflanzen und Kleingetier, bereitet die Nahrung und zieht die Kinder auf. Aus dieser Wirtschaftsform erfolgte unter besonders günstigen Umständen (Vorhandensein eines Nahrungsmittels in überreichem Maße und der technischen Mittel zu ihrer Ausbeutung wie eine bestimmte geistige und seelische Entwicklungshöhe) eine lokale Höherentwicklung einmal bei reichem Tierbestand zum höheren Jägertum mit intensiver Jagd und weit stärkerem Wandern als bei primitiven Jägern, zum andern bei reicher Pflanzenausstattung zum höheren (pflanzlichen) Sammlertum, das mit einem Halbseßhaftwerden einer größeren Menschengruppe einhergeht. Aus einer Zwischenform zwischen primitiven und höheren Sammlern dürfte sich wohl der Hackbau, und zwar an verschiedenen Orten der (tropischen Savannenländer der) Erde selbständig herausgebildet haben. Unter Hackbau versteht man jene Form des Anbaus, bei welcher der Boden überwiegend mit der Hacke (ohne Pflug und Düngung) nur oberflächlich, und meist zur Gewinnung einiger Knollengewächse bearbeitet wird. Aber er bringt bereits in Verbindung mit Seßhaftigkeit eine bedeutsamere Kulturentfaltung mit sich und enthält die Grundlagen zu aller weiteren Kulturentwicklung. Aus dem Hackbau entsteht, ungewiß, ob einmal oder mehrfach, die örtlich beschränkte Sonderform des Gartenbaus, gekennzeichnet durch intensivste Bestellung, Düngung und künstliche Bewässerung des Bodens, auf dem mehrere, nacheinander reifende Pflanzen kultiviert werden. Vielleicht in einem fortgeschritteneren Stadium des Hackbaues gesellt sich ihm (als Nebenbetrieb) die Züchtung von Kleinvieh bei und aus dieser Form ist örtlich wohl der vornehmlich auf die Produktion von Herdenvieh abzielende Hirtennomadismus entstanden. Dort, wo es Großviehzucht neben Hack- oder Gartenbau gab, hat sich

vermutlich bloß einmal (in Babylonien) die Extensivkultur des große Flächen in Breitenaussaat mit einer Frucht besetzenden Pflug- (Feld-) Baus durch Verbindung des (wohl auf Hacke und Saatholz zurückgehenden) Pfluges mit dem Zugtier ergeben. Wieder ein anderes Bild entwirft A. Hettner (1923), der die wirtschaftliche Betätigung der kulturellen Hauptcharakteristik unterordnet und folgenden Aufbau findet. Während der langsamen und außerordentlich große Zeiträume währenden Ausbreitung der (wohl in den tropischen Savannenwäldern der Nordfeste der Osthalbkugel entstandenen) Menschheit über die anderen Kontinente bleibt diese auf primitiver Stufe; ihre Nahrung suchen sie im Wandern hauptsächlich durch das Sammeln von Früchten, Wurzeln, Knollen und kleinen Tieren. Kleidung und Wohnung sind sehr bescheiden, die religiösen und sittlichen Vorstellungen überaus dürftig. Über diesen Primitiven stehen die in ihrer ganzen Lebensführung vorgeschritteneren Naturvölker (höheres geistiges Leben, eine gewisse Technik, bessere Kleidung und Wohnung, größere soziale Verbände). Ihnen gehören die Hackbauvölker, bei denen die Frauen den Boden bearbeiten, während die Männer meist jagen und fischen, an, und zwar mit ihren beiden Zweigformen. Die eine bilden die als eine durch Abdrängung von den Hackbauern in unwirtliche Gegenden entstandene Kümmerform aufgefaßten reinen (also nicht oder nur wenig mit Pflanzenbau verbundenen) Jäger- und Fischervölker, bei denen also die Männer fast dieselbe Beschäftigung haben, die Frauen aber Pflanzen und Früchte sammeln; als anderer Zweig gelten die ausgesprochenen Schiffervölker, die auch Hackbau betreiben, im übrigen aber durch den Verkehr mit dem Meere ihre besondere Note erhalten. Auf dritter Stufe kommen die seßhaften und nomadischen Halbkulturvölker zu stehen; sie entbehren zwar durchaus Besitz und Eigenschaften der eigentlichen Kultur, zeigen aber, zumal in Religion und staatlicher Organisation, gegenüber Hackbauern und Jägern einen zweifellosen Fortschritt; ihnen sind einerseits die wirklichen, das heißt durch den Besitz großer Transporttiere zu weiten Wanderungen erst befähigten Nomaden- (Hirten-) Völker zuzurechnen, die aber doch auch etwas Ackerbau besitzen oder wenigstens mit Ackerbauern regelmäßigen Austausch treiben (Hirtentum ohne größere Wanderungen mag es schon in den späteren Entwicklungsstadien der Naturvölker gegeben haben); zu ihnen gehören aber anderseits auch zahlreiche seßhafte (Pflug-) Ackerbauvölker mit großen Haustieren. Die Pflugkultur dieser Stufe pflegt auf im allgemeinen offenen Lande extensiv (ohne Fruchtwechsel und Düngung) den Anbau meist von Gerste und Weizen an Stelle der Hackbaufrüchte, und ist nicht wie der Hackbau fast stets Sache der Frau, sondern des Mannes. Hettner läßt die Zucht der großen Haustiere, die sowohl vor dem Pflug wie als Lasttiere verwendet werden, in Vorderasien entstehen und den Nomadismus aus dem Pflugbau durch Abdrängung in die Steppe abzweigen; beide besitzen fast den ganzen Nordkontinent der Osthalbkugel, die seßhaften Ackerbauer die feuchten Gegenden und die Oasen, der Nomadismus die trockenen Steppen. Als vierte Stufe stellt sich die der eigentlichen Kulturvölker dar, der gegenüber die drei übrigen gewisse gemeinsame, ihre geringere Höhe erweisende Züge tragen, wie extensive Landwirtschaft, ländliche Siedlungen, lockere Stammesverbände, keine weitergehende gesellschaftliche Gliederung, niedere geistige Kultur. Höhere Technik, Städtewesen, höhere staatliche und gesellschaftliche Organisation,

Schrift und Anfänge der Wissenschaft sind erst dieser vierten Stufe zu eigen. Eine noch weitergehende Sonderung nimmt S. Passarge vor (1922, Erdkundliches Wanderbuch II, S. 66ff.); er unterscheidet sogar acht Wirtschaftsformen, denen er jeweils bestimmte wirtschaftliche, soziale, politische, seelisch-kulturelle und technische Begleiterscheinungen zuordnet. Es sind dies: 1. Sammeln und Jagen, 2. Hackbau, 3. Hackbau mit künstlicher Bewässerung = Gartenbau, 4. ältere Pflugbaukultur, 5. Hirtentum, 6. Fischfang, 7. Gewerbe- und Handel- (Städte-) Kultur der Pflugbauzeit und 8. Maschinenkultur auf industrieller Grundlage. Ein näheres Eingehen darauf verbietet sich aber an dieser Stelle. Als letzte Proben solcher Gedankengänge geben wir auf den Seiten 588—591 zwei sehr übersichtliche Tabellen, deren Lesung nach dem Vorausgegangenen nicht schwer fallen dürfte.

Aber auch damit sind nur einige der wichtigsten solcher innerlich verknüpfter Kultur- und Wirtschaftsstufen angeführt. Den Wert begrifflicher Idealtypen, gewonnen aus einer Summe individuell akzentuierter Einzelmomente, wollen wir gewiß nicht leugnen; durch den Vergleich mit ihnen kann fraglos manche gegebene Erscheinung leichter verstanden werden. Für alles in seinen Ansprüchen darüber Hinausgehende sind wir aber überzeugt, daß weder solche gesetzmäßige Abfolgen, die dann zeitlich abgegrenzten Perioden ihrer Wirtschaftsgeschichte entsprechen müßten, für alle Völker bestehen, noch ein Volk alle Stufen notwendig zu durchlaufen habe; ist doch mancher für die einzelnen Stufen charakteristischer Zug nicht einmal einwandfrei beobachtet und verstanden worden. Wie schwer ist nicht schon die für jede Aufstellung solcher Entwicklungsfolgen bereits vorausgesetzte Entscheidung eines „älter" und „jünger", höher und tiefer, mehr oder weniger primitiv zweier Kulturen oder Wirtschaftsformen zu treffen; wie heikel ist nicht die Zuweisung konkreter heute vorkommender oder historischer Kultur- und Wirtschaftsformen zu einer bestimmten Stufe, wie umstritten auch die Frage eines unbedingt erkennbaren allgemeinen Aufstieges überhaupt? Die Schwierigkeiten aller solcher Einteilungen sind eben nicht gering, sonst wären ja auch die Ergebnisse, zu denen die einzelnen Autoren kommen, nicht gar so widersprechend. Am brauchbarsten sind noch jene, die sich dadurch, daß sie auf die Durchführung eines strengen Stufenbaus, also gesetzmäßiger Entwicklungsreihen verzichten, den bloßen Idealtypen nähern und auf möglichst umfassendem Erfahrungsstoff gegründet sind.

Vielleicht aber ist der diesen Auffassungen zugrunde liegende Kulturbegriff irrig, die Vorstellung der Kultur als einer der Menschheit als ganzen zugeteilten Summe von Kulturgütern, die für alle so ziemlich übereinstimmend sind und an denen die einzelnen Völker nur verschiedenen Anteil haben. Schon ist gegenüber einer solchen naturwissenschaftlich-biologischen die kulturhistorische Methode in der Völkerkunde daran, ihre „Kulturkreislehre" durchzusetzen, die Sätze enthält wie diese (von Frobenius): die Kultur ist ihren menschlichen Trägern gegenüber als selbständiger Organismus aufzufassen und jede Kulturform als besonderes Lebewesen mit eigenen Wachstumsprozessen; jedes abgeschlossene, landschaftlich einheitliche Gebiet aber besitzt abgeschlossene, gleichartige Daseinsformen seiner Menschen. Nach W. Schmidt, Graebner und Foy kann man (vereinfacht) acht solcher Kulturkreise unterscheiden: drei, welche die Urkultur umfassen (den Pyg-

mäen-, tasmanischen und Bumerangkulturkreis), ferner drei „primäre" Kulturkreise wie den exogam-vaterrechtlichen oder totemistischen (papuanischen), den exogam-mutterrechtlichen (ostpapuanischen oder Zweiklassenkulturkreis) und den vaterrechtlich-großfamiliären, schließlich zwei „sekundäre", aus Mischung hervorgegangene Kulturkreise, und zwar den freimutterrechtlichen (melanesischen Bogenkulturkreis) und den freivaterrechtlichen. Das umfangreiche Werk von W. Schmidt und W. Koppers, „Völker und Kulturen" (I: Gesellschaft und Wirtschaft der Völker, 1925), das auf dem Gedanken der Kulturkreislehre aufgebaut ist, sucht freilich auch eine Brücke zum Entwicklungsgedanken zu schlagen, wie folgende Übersicht wohl am besten erweist:

1. Urkultur

(lokale Exogamie [= Heiraten außerhalb des Ortes], Demokratie)

Die Frau sammelt Pflanzen — Der Mann jagt Tiere

2. Primäre Kulturkreise

Pflanzen-(Hack-)bau
In Südasien entstand der exogam-mutterrechtliche Kulturkreis (Demokratie)

Höheres Jägertum
Exogam-vaterrechtlicher oder totemistischer Kulturkreis (Demokratie, Stammwirtschaft, gegenüber der Urkultur etwas seßhafter, Anfänge des Gewerbes)

Viehzucht
In Zentralasien entstand der vaterrechtliche-großfamiliäre Kulturkreis (bereits stärkere Besitzunterschiede)

3. Sekundäre, aus Mischung hervorgegangene Kulturkreise

freimutterrechtlicher Kulturkreis
(großfamilial gepflegter Ackerbau)

(Ackerbau und Viehzucht verbrüdern sich: Pflugbau)
freivaterrechtliche Kulturen. Mehrere an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten entstanden. An bestimmten Stellen, wobei „Geist und System der herrschenden Nomaden" Hauptursachen sind: Entwicklung zu Vollkulturvölkern

Wir verkennen (mit Hambruch, Das Wesen der Kulturkreislehre, 1924) auch das viele Problematische und Hypothetische nicht, das in diesem anderen Kulturbegriff der Kulturkreislehre steckt; auch ihr kommt sicherlich keine alleinige, unbedingte Geltung zu, sie erklärt nicht alle Phänomene restlos. Aber so wenig wir in ihr eine letzte Lösung erblicken können, so sehr halten wir sie für einen Weg, der gerade um seiner engen Verwandtschaft willen mit geographischem Denken fruchtbare und auf andere Weise nicht zu gewinnende Ausblicke schenkt. Hier mußte die Kulturkreislehre auch schon deshalb gestreift werden, weil eines der am meisten gelesenen Werke der Jüngstzeit, Otto Spenglers „Untergang des Abendlandes", den Gedanken der landschaftsbedingten Kulturindividualitäten glänzend verficht. Eine nähere Erörterung des einschlägigen Fragenkomplexes würde aber in unserem Zusammenhange viel zu weit führen.

1. Kultur- und Wirtschaftsstufen

(Phasen der Kultur und Richtungslinien des

	Kulturstufen	Unterstufen	Repräsentanten	Nahrungsproduktion
A. Naturvölker	I. **Wildheit**	a) Unterstufe: **Urzeit**	Ausgestorben und noch unbekannt	**Natürliche Nahrungsquellen:** Sammeln wild wachsender Pflanzen, Jagd und Fischfang
		b) Mittelstufe: **Niedere Jäger**	Australier, Buschmänner, Feuerländer, Eskimo usw. Diluvialmenschen	Desgl.
		c) Oberstufe: **Höhere Jäger**	Nordamerikanische Jägerstämme: Fischervölker	Desgl.
	II. **Barbarei**	a) Unterstufe: **Hirten und niedere Ackerbauer**	Hirtennomaden Asiens und Afrikas. Indianische Ackerbauer, Papuas, Malaien usw.	**Künstliche Nahrungsquellen** durch Ackerbau und Viehzucht (Hackbau)
		b) Oberstufe: **Höhere Ackerbauer** (Übergang zur Zivilisation. Halbstaatliche Völker)	Ozeanische und afrikanische Ackerbauer. Homerische Griechen, Römer unter den Königen, Germanen bis ins frühe Mittelalter	Desgl.
B. Kulturvölker	III. **Zivilisation**	a) Unterstufe: **Niedere Zivilisierte**	Altamerikanische Kulturvölker. Assyro-Babylonier, Ägypter, Chinesen usw., Griechen bis Solon, Römer bis zu den Punischen Kriegen. Romanisch-germanische Völker im Mittelalter	{Gartenbau / Pflugbau}
		b) Mittelstufe: **Mittlere Zivilisierte**	Griechen von Solon ab, Römer nach den Punischen Kriegen, romanisch-germanische Völker bis zum 18. Jahrhundert	Desgl.
		c) Oberstufe: **Höhere Zivilisierte**	Romanisch-germanische Völker seit dem 18. und 19. Jahrhundert	(Handelsbau)
	IV. Anbrechende Epoche **(Sozialisation?)**	a) Unterstufe: **Niedere Sozialisierte**	Dieselben seit den letzten Jahrzehnten	
		b) Mittelstufe:		
		c) Oberstufe:		

nach H. Müller-Lyer
Fortschritts. 2. Aufl. 1915, S. 347.)

Technik	Organisation der Arbeit		
	Form (u. Größe) der Arbeitsorganisation	Differenzierung	Integration
Urwerkzeug aus Holz und Stein bis zur Entdeckung des Feuers	1. *Frühsippschaftliche Phase* (geschlossene Sippenwirtschaft)	(Fehlt)	
Ältere Steinzeit	2. *Hochsippschaftliche Phase* (Erweiterte Sippenwirtschaft)	**Geschlechtliche Differenzierung**	**Naturalwirtschaft**
Desgl.	Desgl.	Desgl.	
Jüngere Steinzeit (Töpferei, Weberei)	Desgl.	Desgl.	
	3. *Frühgewerbliche Phase* (Fronhofwirtschaft, Dorfwirtschaft)	Beginnende Differenzierung der Männer	(Naturalgeldwirtschaft)
Übergang zur **Metallzeit** Kupfer, Bronze, Eisen	4. *Hochgewerbliche Phase* (Stadtwirtschaft)	**Differenzierung der Männer**	**Geldwirtschaft**
Desgl.	5. *Frühkapitalistische Phase* (beginnende Volkswirtschaft)	Desgl.	
Beginnende Maschinenzeit	6. *Hochkapitalistische Phase* (Volkswirtschaft)	Beginnende **Differenzierung der Frauen**	**Kreditwirtschaft**
	7. *Spätkapitalistische Phase* (Beginnende Weltwirtschaft)		

2. Kulturkreise und Kulturstufen nach Otto Maull

Kulturstufen [In Klammern ist die Gliederung nach E. Friedrich gegeben]		Wandlung der Naturlandschaft zur Kulturlandschaft	Materielle (Einzelzüge der	
			Wirtschaftsstruktur und -raum	Siedlungsstruktur und -raum
Stufe der Primitiven	[Kulturstufe des Reflexes]	Fast reine Naturlandschaft	Sammelwirtschaft (Okkupation)	Ganz primitive Anfänge des Wohnungsbaus — bodenvag
Stufe der Naturvölker	[Kulturstufe des Instinktes]	Geringe Beeinflussung der Naturlandschaft	Fischerei und Jagd, Jagd und primitive Viehzucht, halbnomadische Sammelwirtschaft	Entwickeltere Formen, z. T. seßhaft, doch vornehmlich bodenvag
		Stärkere Umwandlung der Naturlandschaft in die Kulturlandschaft	Primitive Produktionswirtschaft: Hackbau (Raubwirtschaft), Kleinviehzucht, Hausgewerbe, Anfänge des Handels. Daneben noch Jagd, Fischerei und Sammelwirtschaft. Wirtschaftsflächen aber noch ohne Konstanz	Kleine Siedlungen (Dörfer); z. T. bodenstet, doch ohne Konstanz
Stufe der Halbkulturvölker		Weiter fortscheitende Umwandlung	Entwickelterer Hackbau oder extensiver Pflugbau. Große Kulturtiere. Hausgewerbe. Handel. Wirtschaftsflächen, vornehmlich auf den offenen Stellen der Landschaft	Feste Wohnplätze
		Schwächere Beeinflussung	Hirtentum. Großviehzucht. Beziehung zu den Ackerbauern. Handel	Bodenvage Siedlung
Stufe der Früh- oder Altkulturvölker (orientalische, indische, ostasiatische, altamerikanische Kultur)	In gewissem Grade [Kulturstufen der Tradition]	Die Kulturlandschaft hat vollkommen die Naturlandschaft durchdrungen	Intensivere Pflugkultur, häufig Berieselungskultur. Gartenbau, Viehzucht, Industrie, Bergbau, Handel. Die Wirtschaftsflächen erhalten Konstanz	Differenzierung der Siedlungsformen nach Zweck u. Größe. Dorf, Stadt.
Stufe der mediterranen Kulturvölker			Dieselbe Struktur, nur tritt an die Stelle der Berieselungskultur die Kultur der unberieselten Flächen	Desgl. Stadt, Dorf
Stufe der europäischen Kultur (Vollkultur)	[Kulturstufe der Wissenschaft]	Fast reine Kulturlandschaft	Mannigfaltigste, rationelle Entwicklung der wirtschaftlichen Kultur (durch Arbeitsteilung), besonders der Industrie und des Handels, Kapitalweltwirtschaft	Siedlungen sind ebenfalls mannigfaltig wirtschaftlich differenziert

(Politische Geographie, 1925, S. 446/447).

Kultur Kulturlandschaft)		Geistige Kultur				Entwicklungsstufe des Staates
Bevölkerungsstruktur	Verkehrsstruktur	Sprachschatz	Religion	Kunst	Wissenschaft	
Äußerst geringe Volksdichte	Völlig unentwickelt	Sehr gering	Anfänge	Anfänge	—	Hordentum
Recht geringe Volksdichte Geringe Volksdichte	Wenig entwickelt primitve Verkehrsmittel, Pfad, Naturwege	Gering	Primitive Religionen	Zum Teil schon gut entwickelt	Vorwissenschaftliches Erfahrungssammeln	Kleine Zweckverbände, Zwergstaaten, Dorfstaaten, Stammesorganisation, Ansätze zu höherer Staatenbildung
Zunehmende Volksdichte	Entwickeltere Verkehrsmittel (Wagen) und Wege. Verkehrstiere	Zunehmender Umfang	Bedeutende Entwicklung über die primitiven Formen hinaus	Weitere Entfaltung	Geringe Ansätze	Stammesstaaten im gelegentlichen Übergang zur Großstaatenbildung
Geringe Volksdichte	Verkehrstiere					
Volksdichte stark anwachsend, zum Teil bedeutend	Entwicklung der Verkehrsmittel und Verkehrswege	Bedeutend	Religionen im Übergang zu hohen Formen	Bedeutende Leistungen	Grundlegung, aber nur geringe Beziehungen zur materiellen Kultur	Große Staaten in entwickelter Staatengesellschaft: Mit despotischen Herrschaftsformen und starrer Klassenbildung
Desgl.	Desgl. Entwicklung der Fernverkehrsmittel auf See	Hohe Entwicklung		Freie Entfaltung mit Höchstleistung	Hohe Entwicklung in systematischem Ausbau	Mit demokratischen Herrschaftsformen
Volksdichte groß, rasch wechselnd	Weltverkehr in seinen vielfältigen Formen. Starke verkehrsstrukturelle Verengerung des Erdraumes	Weitere Bereicherung	Religionen mit sittlich hohem Ideengehalt	Mannigfaltige und hohe Entfaltung	Ausbau und Vertiefung in enger Beziehung zur materiellen Kultur	Erdumfassende Staaten in einem Weltstaatensystem (Entwicklung der Kulturorgane der Staaten)

II. Grundzüge der politischen Geographie.

Es ist uns auch nicht entfernt die Möglichkeit geboten, alle Formen der Besitzergreifung der Erde durch den Menschen gleichmäßig zu besprechen. Kurz müssen wir uns zumal bei jenen Formen fassen, in denen der Mensch durch den Staat mit einem bestimmten Erdraum verwächst, das heißt für die sogenannte politische Geographie, die wir am besten als eine nach Abgrenzung (z. B. gegenüber der Staatswissenschaft), Begriff, Arbeitsgebiet (dem besonderen Inhalt) und Methode nicht immer einheitlich umrissene, doch wenigstens nach bestem Können unter geographischen Gesichtspunkten geschaute und entworfene Staatenkunde definieren können. Es ist daher ganz ausgeschlossen, hier so etwas wie ein „System" der politischen Geographie zu geben, bzw. das Stoffliche auch nur nach irgendeiner Seite hin zu vertiefen oder gar erschöpfen zu wollen. Am zweckmäßigsten erscheint noch, uns bei einigen namhaften Verfassern politischer Geographien mindestens um die Hauptfragen ihrer Werke zu erkundigen, wobei auch klar wird, worin sie das Thema begrifflich nicht übereinstimmend behandeln. Friedr. Ratzel, der eigentliche und in allen neueren Arbeiten noch irgendwie fortwirkende Schöpfer dieses Zweiges der geographischen Lehre vom Menschen, sieht im Staat einen Organismus, der eingehend nach Lage und Raum zu charakterisieren und in seinem als Bewegungsvorgang sich vollziehendem Wachstum zu erfassen ist. Unter den späteren Autoren steht für die einen mehr das geographische Verstehen des dynamischen Werdens der Staaten im Mittelpunkt als Vorbedingung des Versuches, auch gegenwärtige und zukünftige geopolitische und weltwirtschaftliche Lebensfragen zu entschleiern, andere begnügen sich mehr mit bloßer Zustandsschilderung der Staaten nach raumgegebenen und kulturgestaltenden Elementen und deren Beziehungen zueinander oder möchten hauptsächlich für die konkreten Einzelheiten die geographischen Grundlagen ihres historischem Wandel unterliegenden Staatsgedankens ermitteln.

Wir betrachten nun die Arbeiten von A. Dix (Politische Geographie, Weltpolitisches Handbuch, 1921), A. Supan (Leitlinien der allgemeinen politischen Geographie, 2. Aufl. 1922), W. Vogel, (Politische Geographie, 1922) und O. Maull (Politische Geographie, 1925). Für Dix ist politische Geographie die Lehre von den Wohnsitzen und Machtbereichen der Staatsvölker, die Kunde von den Erdräumen, in und auf denen sich die Politik, die Staatlichkeit des Volkstums abspielt; sie betrachtet die einzelnen Teile der bewohnten und bewohnbaren Erdoberfläche unter dem Gesichtspunkt der politischen Lebensbedingungen und staatlichen Betätigungsmöglichkeiten, die sie den Bewohnern bietet und gewährt. Politische Geographie, aufgefaßt zugleich als „weltpolitischer Wegweiser" hat nach Dix die Aufgabe, auf wirtschafts-, verkehrs- und geschichtsgeographischem Gebiete sowohl die Zustände, d. h. die geographischen Lebensbedingungen wie die auf Veränderung bestehender Zustände hinwirkenden Triebkräfte aufzuweisen. Das Werk von Dix zerfällt demgemäß in zwei Hauptteile, in einen — übrigens viel kürzeren — allgemeinen und in einen weit größeren besonderen. Jener untersucht für Wirtschaft, Verkehr und die kulturellen Äußerungen der Staatsvölker sowohl die geographischen Lebensbedingungen wie die weltpolitischen Richtlinien, dieses, also der weltpolitische

Wegweiser, unternimmt es, unter denselben Gesichtspunkten (Scheidung von Lebensbedingungen und Zielen) die einzelnen wichtigsten konkreten Staatengebilde sowohl für den Zustand von 1914 wie für die durch den Ausgang des Weltkrieges gegebene Lage bei ausführlichster Berücksichtigung Deutschlands zu charakterisieren. Im allgemeinen Teil werden zunächst die wirtschaftlichen Lebensbedingungen gewertet und zu ihnen gerechnet, was die Landschaft an physisch-geographischen Bedingungen und Hilfsmitteln beisteuert; als wirtschaftsgeographische Richtlinien der Weltpolitik werden das Streben nach Nahrungs- und Rohstoffquellen, nach Absatz- und Anlagemärkten beschrieben. Auch der Verkehr hat im Bodenrelief, im Gewässernetz u. a. geographische Grundlagen, die ein statisches, zuständliches Moment darstellen. Den Richtlinien wird nachgespürt, indem die Landwege der Staatsvölkerverschiebung aufgezeigt werden und gebucht wird, wie mannigfach die Wasserstraßen als verkehrsgeographischer und weltpolitischer Wegweiser gedient haben; dies äußerte sich im Streben nach geschlossener Beherrschung von Stromgebieten, im Streben ans Meer oder nach mehrfachem Meereszugang oder gar im Streben übers Meer und ums Meer. Naturverankert sind schließlich als Lebensbedingungen auch die kulturellen Äußerungen der Staatsvölker; zwischen Boden, Meer, Klima und dem politischen Charakter, der Kulturhöhe und Denkart der Völker bestehen zweifellos enge Beziehungen. Kulturgeographische Richtlinien der Völkerbewegung aber, die dynamischen Elemente, sind das Streben nach räumlicher und geistiger Machtausbreitung, nach ethnographischer Zusammenfassung, darüber hinausgreifend das Streben zum Weltreich, verbunden in allen Stadien mit dem Streben nach Machtsicherung, die dann als Lehre von den Grenzen erscheint. Der besondere Teil kann mit einem kurzen Hinweis erledigt werden; die Lebensbedingungen werden, nach Mächten, Ländern oder Staatsgruppen gesondert geboten, die Richtlinien zusammenfassend in wirtschafts-, verkehrs- und kulturgeographischer Hinsicht gezogen. Die Eigenart des Dixschen Buches dürfte in seinem wesentlich praktischen Einschlag liegen; in diesem (vom Verfasser selbst im allgemeinen Abschnitt mehr eine kombinierte Wirtschafts-, Verkehrs-, Völker- und Kulturgeographie mit politischer Nutzanwendung genannten) Werke liegt der Hauptton auf den letzten Worten, weshalb beim Strukturbild der einzelnen Staaten die „Reibungsflächen" besonders scharf umrissen werden. Dix will seine Leser zum weltpolitischen Denken erziehen. Dieses Ziel wird aber weniger durch Aufrichtung einer auf eigenem Grunde stehenden und aus eigenen Bausteinen bestehenden, in sich und in seinen Teilen aufs Ganze wohl abgestimmten Baues erstrebt als durch Beibringung einer weitausgreifenden Stoffülle, deren Bändigung dann durch Aufzeigung jener immanenten Gesetze erfolgen soll, die allem endgültigen Geschehen zugrunde liegen. Nicht strenge Systematik und begriffliche Feinarbeit also, sondern Anregungen und gute Beobachtungen im einzelnen kennzeichnen das Buch, das daher besser wie zur Absteckung des inhaltlichen Problemkreises unserer Wissenschaft zum Führer beim Durchdenken wichtiger geographisch-politischer, nationaler, wirtschaftlicher und territorialer Gegenwartsfragen geeignet ist.

Viel straffer geformt und durchsichtiger in der Logik der Anlage sind Supans „Leitlinien". Politische Geographie ist ihm die Lehre von den natürlichen Grundlagen des aus Land und Volk bestehenden Staates, dessen geographische Kategorien

erblickt werden in Gestalt (Grenzen), Größe und Lage als seine äußeren, und in seiner Struktur, d. h. dem inneren Zusammenhang aller Teile des Staatskörpers, als den inneren Merkmalen. Die entweder homogene oder heterogene Struktur ist nach ihrer physischen, völkischen und wirtschaftlichen Seite hin und deren gegenseitigen Beziehungen zu untersuchen. Eine Prüfung der Gestalt führt zur Unterscheidung von einfachen (Schweiz) und mehrteiligen Staaten (Großbritannien, Dänemark), als deren Abart die Kolonialstaaten angesehen werden; ein Vergleich staatlicher Grenzen ergibt die begriffliche Klärung oft verwendeter Ausdrücke wie natürliche und künstliche, gute und schlechte Grenzen, Grenzlinien und Grenzsäume. Die Größe der Staaten wird als Raum-, Bevölkerungs- und politische Größe beschrieben. Die staatliche Größe, vom Streben nach Raumerweiterung durchdrungen, ist veränderlich, die Schnelligkeit des Wachstums verschieden; die politische Größe verkörpert sich in den Großmächten als den Staaten, die den Willen zu Großmachtentfaltung mit den Mitteln, ihn durchzusetzen, verbinden; heute sind aber gar nicht mehr die Großmächte ausschlaggebend, sondern die Weltmächte England, Ver. Staaten von Amerika, Japan. Die Lage der Staaten bedeutet Lage zu klimatischen Zonen, zu anderen Staaten, zu den Verkehr fördernden oder hemmenden Oberflächenformen (zum Meer, an Meer- oder Landengen, in Zwischenlage von mehreren gefährlichen Nachbarn umgeben, als mit dem Festland eng verbundene, aber auch das Meer erreichende Randstaaten, als vom Meer völlig abgeschlossene Binnenstaaten); die Nachbarstaaten üben, im Ausmaß ihrer Macht, auf den umgrenzten Staat einen Druck aus, auf den dieser mit einem seiner Macht entsprechenden Gegendruck antwortet; die Zahl, die ich durch Division der Bevölkerungssumme aller unmittelbaren Nachbarstaaten durch die Bevölkerungsziffer des umgrenzten Staates erhalte, kann als „geographischer Druckquotient" den Ausdruck dieses Zustandes bezeichnen. Die Gliederung der Staaten nach ihrer physischen Struktur prägt den Terminus der natürlichen Landschaften. Selten gehören Staaten nur einer (Tieflands-, Gebirgsstaaten), viel häufiger mehreren natürlichen Landschaften an (Deutschland, das sich stufenförmig vom Süden nach Norden abdacht, Italien); diese Staaten sind also nicht homogen-gleichartig, sondern heterogen-ungleichartig. Die gewiß nicht unwichtige politische Bedeutung der natürlichen Gliederung eines Staates darf aber nicht überschätzt werden; doch wird zweifellos ein Staat etwa unterhalb seiner Grenzen liegende Endstücke seiner natürlichen Landschaften sich einzubeziehen bestrebt sein. Die Untersuchung des Verhältnisses zwischen Staat und Volk bringt die Auseinandersetzung über Begriff und Wesen von Volk, Nation, National- und Nationalitätenstaat. Volk ist die Gesamtheit der Angehörigen eines Staates, eine Nation im politischen Sinne ist ein homogenes (gleichartiges) Volk, wie ein solches durch gemeinsame Abstammung, Religion, Sprache und Kulturgrundlage geschaffen wird. Sprach- und Kulturgemeinschaften, denen die politische Einigkeit und Selbständigkeit fehlen, werden Nationalitäten (unpolitische Nationen) genannt. Nationalstaaten sind einsprachig, völkisch ungleichartige Staaten heißen Nationalitäten- oder auch Territorialstaaten (die alte österreichisch-ungarische Monarchie); pseudonationale Staaten sind solche, in denen zwar mehrere Nationen wohnen, eine davon aber (die zahlenmäßig oft nicht einmal die Hälfte

ausmacht) die herrschende, also durch Macht hervorragende (Staats-) Nation ist. Auf die Beziehungen von Staat und Wirtschaft, die Bezeichnungen Agrar- und Industriestaat, das Bemühen der Staaten um möglichste Autarkie (d. h. Selbstversorgung aus eigenen Quellen) möchten wir uns hier als zu bekannt nicht weiter einlassen.

Supan ist vielleicht etwas zu elementar, die geradezu vorbildliche Klarheit trifft nicht immer eine neu gewonnene Einsicht, sondern erfließt gelegentlich aus Selbstverständlichkeiten. Aber Dix und Supan haben uns doch schon unbestrittenes Arbeitsgebiet der Politischen Geographie kennen gelehrt: die Wirkungen des Bodens auf den Zusammenschluß der ihn bewohnenden Menschen als geographisches Wesen der Staaten, die aus der Auffassung der Staaten als Raumgebilde erwachsenden Fragen nicht minder wie die ihm als Organismus eignenden Wachstums- und Vergehensprozesse, schließlich die Bedeutung der Lage, deren mannigfaltige Möglichkeiten groß sind, der geographischen zu Boden und Klima wie der politischen zu den Nachbarstaaten. Vogel hat nun seine Sondernote darin, daß es ihm in seiner sehr gedrängten Darstellung bei stärkerer Hervorhebung des dynamischen wie des statischen Momentes vor allem auf eine an vielfältigen Beispielen gewonnene Herausarbeitung eines Systems klarer und scharfer Begriffe ankommt, wogegen die politische Nutzanwendung (Dix) und wirtschaftsgeographische Betrachtungen (denen Supan nicht viel weniger als ein Drittel seines Buches widmet) stark zurücktreten. Nach Vogel hat sich die besondere Politische Geographie mit der Beschreibung der Einzelstaaten als räumlicher Gebilde menschlicher Siedlungen und menschlichen Verkehrs zu beschäftigen. Die allgemeine Politische Geographie (auf die er sich beschränkt) behandelt den gleichen Stoff, verfährt aber methodisch anders, indem sie erst analytisch-ausgleichend zergliedert, um das Typische zu finden, sodann jedoch wieder durch Synthese ein Gesamtbild, eine ordnende und klassifizierende Theorie, die durch Gewährung brauchbarer Maßstäbe als Wegweiser für Staatenkunde und die Geschichte dient, zu gewinnen sucht; so erforscht sie die Wechselwirkung zwischen den Staaten und der Erdoberfläche, besonders die geographischen Bedingungen der Staatsentwicklung. Vogel betrachtet ausführlicher die Staaten als Einzelwesen, ganz kurz (am Schluß) die Erscheinungen, die eine Folge ihres Zusammenseins sind. Zunächst sind die Staaten Siedlungsgemeinschaften, deren Ausdehnung von der Verkehrsleitbarkeit abhängt, und zwar der Verkehrsleitbarkeit sowohl der Staatsbewohner (der Staatssubstanz) — gegeben z. B. in der gemeinsamen oder verschiedenen Sprache — wie der Verkehrsleitbarkeit des Staatsbodens, der in seiner jeweiligen Beschaffenheit und Ausstattung wirksam wird. In besonderen Formen vollzieht sich die Verbindung zwischen Volk und Land. Ein Hauptthema aller Politischen Geographie wird mit der Untersuchung darüber angeschlagen, wie Klima, Oberflächenformen, Bodengestalt (landwirtschaftlicher Wert, Bodenschätze), Pflanzen- und Tierwelt und die geographische (geophysische, d. h. also sowohl klimatische wie physisch bedingte Verkehrs-) Lage das Werden und die „Charakterbildung" der Staaten beeinflussen. In Berücksichtigung der Oberflächenformen werden unterschieden: Schwellenstaaten, die sich z. B. auf beiden Abhängen eines Gebirgskammes oder -rückens ausbreiten (Bulgarien, Schweiz), Abdachungsstaaten, die den Raum zwischen einer Gebirgs-

schwelle und einer Seeküste bedecken (Schweden, Chile), Horststaaten, die sich auf hochgelegenen, in manchen Fällen durch noch höhere Randgebirge abgeschlossenen Tafelländern bilden (Spanien, Mexiko), Binnenmeerstaaten (das um die Zuidersee gelagerte Holland), Insel- und Halbinselstaaten. Aber die Staatsbildung ist nicht bloß von den Eigenschaften der Erdoberfläche her bestimmt, sie ist vor allem doch eine Schöpfung menschlicher Gemeinschaften, die diese Aufgabe mannigfach zu lösen versuchen, sich auf verschiedene Art des Bodens zu bemächtigen pflegen, wobei vorgefundene „Charakterlandschaften" (die von Natur aus einen bestimmten einheitlichen Charakter tragen) zielbewußt in „Zweck-landschaften" wirtschaftlicher oder kommerziell-strategischer Färbung umgewandelt werden. Wenn man von den wandernden Staatswesen z. B. mancher Reiternomadenstämme absieht, sind die meisten Staaten bodenständig; sie entfalten sich sowohl durch grad-, besser stufenweise Ausdehnung in der Fläche als durch gradweise Ballung oder innere Konzentration, die sich in den Städten verkörpert. Raumgrößentypen sind aufsteigend aufgezählt: der Pagus, d. i. die normale Fläche des zusammenhängenden Volksstammes, das Territorium, das die Vereinigung mehrerer Pagi darstellt, die eigentliche „Pflanzschule" des auch einheitlich verwalteten Staates; das Regnum entsteht gewöhnlich als Vereinigung mehrerer Territorien und bildet im allgemeinen die Ausfüllung einer größeren wirtschaftsharmonischen und kommerziell-strategischen Region. Auf der höchsten Stufe steht das Imperium, dessen Grundlagen gegeben sind, wenn ein Regnum durch ein anderes einverleibt wird; sein physisch-geographischer Raum ist der Erdteil als riesige Charakterregion, verwaltungspolitisch ist es entweder Einheitsreich oder Bundesreich. Faßt man nicht die Bedingungen, sondern einfach die Tatsache staatlicher Ausbreitung ins Auge, so tritt sie uns als Wachstum und Fortpflanzung entgegen; von Fortpflanzung kann man sprechen, wo aus den Kräften eines Staates oder einer Nation heraus ein neuer, staatlich organisierter Territorialbezirk geschaffen wird. Die Motive des Wachstums sind z. B. das Streben nach Machterweiterung und nach größerer wirtschaftlicher Harmonie. Die Formen, unter denen sich das Wachstum von seiten des Volkes her vollzieht, können folgende sein: einfache Eroberung oder administrative Angliederung; Einsiedlung eines Volksteiles als herrschender Oberschicht inmitten einer stammfremden Mehrheit (sogenannte Einquartierung); Kolonisation, d. i. vollständige Durchsetzung eines fremden Volkes durch Neuankömmlinge; schließlich Neubesiedlung in bevölkerungsleeren Gebieten. Die Stärke des Staates beruht einmal auf der räumlichen Anordnung ihrer geographisch-wirtschaftlichen Faktoren (z. B. Bodenfruchtbarkeit, Bevölkerungsdichte) und ihrer völkisch-sozialen Faktoren körperlicher und geistiger Art (nationale und rassische Gleich- und Verschiedenartigkeit, Stärke des Nationalgefühls usw.), zum anderen auf ihren Verkehrsmitteln und der Verbindung zwischen den Staatsteilen (Lage der Hauptstadt); hier sind überaus wichtige Probleme des „Innenbaus" der Staaten gegeben. Grenzen können als Schutzorgane und als Rechtseinrichtungen gesehen werden; in letzterer Hinsicht sind Sichtbarkeit und Unzweideutigkeit ihre besten Eigenschaften; als „natürliche" Grenzen sind verkehrshemmende Zonen und Linien zu bezeichnen; bei „zweckmäßigen" Grenzen ist zwischen den Bedürfnissen und Zwecken des wirtschaftlichen Ausgleichs,

des Verkehrs und der Strategie zu unterscheiden; „organische" Grenzen sind solche, die, von einem höheren Standpunkt aus betrachtet, das organische Gedeihen eines zusammenhängenden Ganzen am besten verbürgen, indem sie Gebiete, die in Wirtschaftsleben, Verkehr und Verteidigung zusammengehören und zusammenstreben, vereinigen, fremdartiges dagegen ausscheiden. Zu all diesen, aus der Einzelbetrachtung der Staaten gewonnenen Ergebnissen tritt nun eine kurze Übersicht der aus ihrem „Zusammensein" sich ergebenden Fragen. Die Idee der Gleichgewichtssysteme, von denen gleichzeitig verschiedene auf der Erde möglich sind, taucht auf, die Bedeutung der zentralen und der peripherischen Lage eines Staates zu anderen; jene weist auf eine Umgebung politisch starker Staaten hin, diese auf die Lage am Rande eines Staatensystems, in breiter Anlehnung entweder an ein offenes Meer oder an dünn bevölkerte, politisch schwache und passive Gebiete. Das Meer ist für die Beziehungen der Staaten zueinander ebenso Schutzorgan wie allgemeine Verkehrsbahn, natürlich bei wechselndem politischem Wert verschiedener Meeresteile. Und der Blick in die Zukunft hinsichtlich der Staatengemeinschaften? „Die Nationen werden immer große staatliche Bedeutung behalten, aber das Zeitalter der souveränen Nationalstaaten kann wohl in dem Sinne als überwunden gelten, als sie sich dazu werden bequemen müssen, politisch einer höheren Gesamtheit anzugehören."

Maull geht im Umfang noch über Dix hinaus; er unternimmt den jüngsten und bisher ausgreifendsten Versuch, das Gesamtgebiet zu bewältigen, das von ihm als die Lehre vom Staate in seiner geographischen Abhängigkeit von der Natur- und Kulturlandschaft und zugleich als Lehre von der Differenzierung der Menschheit zu staatlichen Gemeinschaften umrissen wird. Es würde nun für unsere Bedürfnisse viel zu weit führen, wollten wir hier die stofflichen Ergebnisse auch nur in den gröbsten Umrissen ausbreiten und dadurch neue inhaltliche Züge der Politischen Geographie kennen lernen. Es muß genügen, den Gang der Arbeit anzudeuten, um wenigstens zu zeigen, wie Maull sich den Aufbau des Ganzen denkt. Er zerlegt sein Werk nach einleitenden methodischen und gegenstandsgeschichtlichen Ausführungen in drei an Umfang völlig ungleiche Hauptteile. Der erste ist kurz und betrachtet den Staat in geographischem Sinne als Raumorganismus mit der Fülle seiner organischen Lebensäußerungen (Geburt, Kampf um den Raum, Fortpflanzung, Lebensdauer); es ist gleichsam der Vorblick auf den Gegenstand. Der zweite Teil, mit dem etwa zehnfachen Ausmaß des ersten, ist der eigentliche Hauptteil; er bringt die durch sorgsame Analyse des Raumwesens Staat erstrebte Vertiefung in den Stoff. Diese Analyse ist zuerst in einem kleinen Abschnitt beschreibende Gestaltungs- und Lagelehre (Morphographie) der Staaten, im überwiegenden Abschnitt Beziehungslehre (Morphologie) der Staaten; diese soll die Bedeutung der Natur- und Kulturlandschaft, also der Landeselemente und ebenso die des Menschheitselementes für die Entwicklung des Raumorganismus zeigen, und demgemäß ist dieser Abschnitt dreifach gegliedert: die Naturlandschaften als Staatsräume, die Menschen als Träger des Staatsgedankens, die Kulturlandschaften als Staatsräume. Der dritte, wiederum kurze Hauptteil (von doppeltem Umfang des ersten) enthält die als Abschluß notwendige Zusammenschau. Die Analyse hat die Einzelzüge schärfer gefaßt, die Synthese verbindet diese Einzelzüge für ein

letztes Verständnis des Gesamtwesens des Staates: sie fragt innerhalb einer Gesamtwertung der Räume für die Staatenbildung nach den für ihre Entwicklung günstigsten Räumen, überblickt die Staaten als Machtgemeinschaften wie als Glieder von Lebensgemeinschaften und gipfelt in einer Skizze der politisch-geographischen Entwicklung des Erdbildes, die mit dem universalen Formenkreis des Zellstaates beginnend die Formenkreise der antiken Großmächte, der Völkerwanderungsstaaten, der bodenständigen mittelalterlichen Großreiche und der neuzeitlichen Kolonialreiche, schließlich der modernen Weltimperien und neunationalen Bildungen in typischen Vertretern charakterisiert. Das Hauptgewicht liegt durchaus in dem durch weitgehende Anpassung an die Wirklichkeit ausgezeichneten analytisch-morphologischen Mittelstück. Unter den Wirkungen der Naturlandschaften auf die Staatsräume werden jene von Hoch- und Mittelgebirgen, von Ebenen, Wäldern, Steppen, Oasen u. a. geprüft. Die Einbeziehung des Meeres als gewaltigster Naturlandschaft ermöglicht eine Reihe weiterer wichtiger Einflüsse aufzuzeigen, weniger zu sagen ist von der Wirkung des Klimas auf den Staatsraum. Aber mit diesen physischen Strukturelementen ist nur die eine Gruppe der auf den Staat gerichteten Wirkungen beschrieben und nicht einmal die wichtigste, denn sie birgt nur „Möglichkeiten und Forderungen"; auf den in Rasse, Sprache, Religion und Kultur so verschiedenartigen Menschen aber als Staatsträgern beruht alle Aktivität, die Erfüllung gegenüber jenen Forderungen, die Nutzung der Naturgegebenen — freilich ebensooft das Gegenteil davon: Passivität, Nichterfüllung, Unvermögen, die Naturgaben zu verwerten. Aber auch Naturlandschaft und Mensch haben gerade die heutigen Staaten nicht allein geprägt. Mit steigender Kultur wird aus der Natur- die Kulturlandschaft mit bewirtschaftetem, von Verkehrswegen überzogenem Kulturboden, der Staat wird zur Verbindung eines Stückes Kulturboden mit einem Stück Kulturmenschheit; Naturbedingungen und Kulturwerk sind in innigere, aber begrifflich auch schwerer entwirrbare Verknüpfungen getreten. Nicht die Naturlandschaft, sondern der aus der Verbindung der Kulturmenschheit mit dem Boden neu geschaffene Kulturboden ist in höheren Kulturen der Staatsboden; seine Gesetze, nicht die der Naturlandschaft, sind weiterhin für die Entwicklung der Menschheit gültig. Die Darstellung dieser Einwirkungen hält sich an die neuen Raumorgane, die mit der Schöpfung des Kulturbodens entstanden sind: es sind dies die Wohnzellen (Siedlungen), die Verkehrsadern (wobei Staaten mit unentwickelter, mit ein- und mehrtypischer wie universaler, auch solche mit entwickelter äußerer Verkehrsstruktur unterschieden werden) und der Nährboden mit den Ernährungsorganen; es sind hier wirtschaftspolitische Fragen teilweise von größter Gegenwartsbedeutung behandelt, so die Gliederung der Staaten nach dem Grade der Autarkie, die auf die Wirtschaft begründeten Formen der Machtausbreitung, der Wirtschaftskampf als besondere Form des Kampfes der Staaten und die wirtschaftliche Durchdringung als Ersatz für den territorial-politischen Besitz.

Wir sind am Ende und hoffen, durch unseren Vorgang einen besseren Einblick in das Arbeitsgebiet der Politischen Geographie gewährt zu haben als es auf so kleinem Raum durch den Entwurf eines selbständigen Abrisses, der notwendigerweise primitiv hätte bleiben müssen, möglich gewesen wäre. Nur ein Begriff, der seit R. Kjellén's viel gelesenen Büchern immer häufiger verwendet worden ist,

möge noch geklärt werden; jener der „Geopolitik". Gibt es doch seit 1924 sogar eine besondere „Zeitschrift für Geopolitik". Auf eine kurze Formel gebracht, dünkt uns Geopolitik eine angewandte Politische Geographie. Als Tochterwissenschaft dieser empfindet sie K. Haushofer, einer der Herausgeber der Zeitschrift, der beide durch folgende Definition (in der Festgabe für v. Drygalski) gegeneinander abgrenzt: Politische Erdkunde, die Lehre von der Verteilung der staatlichen Macht über die Räume der Erdoberfläche und ihrer Bedingtheit durch deren Form und Unterlage, Klima und Bedeckung; Geopolitik, die Wissenschaft von der politischen Lebensform im natürlichen Lebensraum, die sie in ihrer Erdgebundenheit und ihrer Bedingtheit durch geschichtliche Bewegung zu erfassen sucht. Kjellén selbst, der freilich Staatswissenschaftler, nicht Geograph war, hat das Arbeitsgebiet der Geopolitik anders abgesteckt; ihm war sie die Lehre vom Staat als geographischem Organismus oder als Erscheinung im Raume: also der Staat als Land, Territorium, Gebiet oder, am bezeichnendsten, als Reich; Geopolitik hat als politische Wissenschaft (!) ihr Augenmerk stets auf die staatliche Einheit gerichtet und will zum Verständnis des Staates beitragen, während die Politische Geographie die Erde als Wohnstätte für ihre menschliche Bewohnerschaft in ihren Beziehungen zu den übrigen Eigenschaften der Erde studiert. Kjellén verengt offenkundig den Stoff der Politischen Geographie zugunsten der Geopolitik. In eine nähere Diskussion einzutreten, können wir uns füglich ersparen. Grenzstreitigkeiten sind auch an sich wenig fruchtbar, auf die Leistung kommt es an. In unserem Zusammenhang eines Sammelwerkes über Natur und Mensch genüge es zu betonen, daß zweifellos die Geopolitik die „angewandteste" Geographie ist, Führerin zur Erkenntnis tiefster Verwurzelungen unserer Staaten; dies zeigt schon ein Blick ins Inhaltsverzeichnis der Zeitschrift für Geopolitik. Wir nennen: Die Einheit der Monsunländer; die Mittelmeere als politische Kraftfelder; die Zugänge zum indischen Lebensraum; Rhein und Donau als Staatenbildner; die allbritische Selbstversorgung, ihre Ausdehnungsmöglichkeit und Begrenzung; die Tropen als Nähr- und Siedlungsraum; ferner: Das Gesetz der wachsenden Räume; Staat, Wirtschaft, Volk, Religion in ihrem Verhältnis zur Erdoberfläche; Unterschiede zwischen dem Wachstum der Staaten und dem der Nationen; der Lamaismus als Religionsform der hochasiatischen Landschaft — und vieles andere. Hier möge unser Volk in Erdteilen denken lernen, woran es ihm bisher so sehr gebricht.

III. Die Siedlungen.

Siedlungen sind menschliche Wohnstätten und als solche ein überaus charakteristisches Kulturelement im Landschaftsbilde, in ihnen drücken sich neben dem bestellten Boden und den Verkehrsanlagen die Beziehungen zwischen Mensch und Natur am sinnfältigsten aus. Freilich sind die Siedlungen verschieden nach Größe, Lage, Aussehen und Berufszusammensetzung ihrer Bewohner, mannigfach sind ihre Beziehungen zur Landschaft, zu den durch Lebensweise, Wirtschaftsentwicklung (Handel und Verkehr) wie durch den Charakter ihrer Erbauer oder ihrer Benützer gegebenen Bedürfnissen. Am stärksten ist wohl die Abhängigkeit von der Landschaft; nicht nur weil Oberflächenformen, Art des Bodens, Pflanzendecke und

Wassernähe Anlage und Formen der Siedlungen maßgebend beeinflussen, sondern auch weil, was die Landschaft bietet, auf weiten Flächen Art und Möglichkeit wirtschaftlicher Betätigung bestimmt und mindestens in den Anfängen technischen Könnens den Menschen oft an eine fertige, zur Behausung geeignete Stätte oder doch an die Verwendung eines jeweils von ihr gelieferten Baustoffes bindet. So ist auch eine Einteilung der Siedlungen nach verschiedenen äußeren und inneren Gesichtspunkten durchführbar. Man kann sie nach ihrer Volkszahl gliedern, nach der Größe und anderen Merkmalen Einzelhöfe, Weiler, Dörfer und Städte unterscheiden, man kann von den bodenvagen, vergänglichen Siedlungen umherschweifender Sammelvölker und Viehzüchter im Gegensatz zu den bodenständigen, dauernden seßhafter Völker sprechen. Der freilich von der historischen Entstehung (Flurverteilung!) mitbedingte Grundriß ist für die Sonderung in Rundlinge, Haufen-, Straßen- bzw. Gassen- und Reihendörfer (Wald- und Marschhufendörfer) maßgebend, das Verhältnis zu Wirtschaft und Verkehr führt zur Bezeichnung, z. B. von Industrie-, Handels-, Hafen-, Bergwerks- und Brückenorten, auch Baumaterial und Hausformen (diese ein Kennzeichen nationaler Eigenart und Tradition) können als Einteilungsgründe verwendet werden und manches andere mehr.

Zu den primitivsten menschlichen Wohnstätten sind jene zu zählen, wo die Natur selbst die Behausung liefert. Der Mensch sucht den *schützenden* Felsen, er birgt sich in Höhlen und Grotten. Aber auch auf späteren Entwicklungsstufen nützt er zur Wohnstätte die Gaben ihrer Umgebung, ja bleibt in verkehrsarmen Gebieten in *Baustoff* und *Bauweise* dauernd von ihnen abhängig, er paßt, nicht zuletzt um sich besser zu schützen, die Wohnstätte den örtlichen Eigentümlichkeiten (Erdbeben! Höhe des Grundwasserspiegels!), Wind und Wetter an. Aus seinem Schutzbedürfnis (gegen feindlichen Überfall, wilde Tiere, Überschwemmungsgefahr) dürften sich die *Pfahlbauten*, in seichten Strandgewässern, in Küsten- oder Flußniederungen angelegt, erklären lassen; die Wohnstätten in Lößhöhlen (in China, aber auch anderswo) schützen nicht nur, sondern nehmen auch auf stärkste Ausnützung des verfügbaren Bodens Bedacht, indem sie ein Wohnen außerhalb des auf jedem Fleckchen angebauten Ackerboden gestatten. Klimatischen Schädigungen sucht man zu entgehen, wenn man heftigen Regengüssen und schweren Schneelasten steile und feste Dächer, den Stürmen steinbelegte Dächer entgegenstellt; auch zu große, trockene Hitze vermag man durch geeignete Vorrichtungen erträglich zu machen. In Zelten, Lehm-, Holz- und Steinbauten ist der Mensch weitgehend dem Materiale untertan. Das schnell abzubrechende und leicht tragbare *Zelt*, die Wohnstätte so vieler Nomaden, bedarf für seine Holzstangen des Baumwuchses, seine Fell- oder wollgewebte Bedachung der großen Jagd- oder Haustiere (Büffel, Renntier, Kamel). Der *Hüttenbau* bezieht in der Savanne von den Gräsern, im tropischen Regenwalde von den Palmenblättern seinen Rohstoff zu Web- und Flechtarbeiten für Wände und Dächer. Rohr- und Schilfhütten sind in schilfdurchzogenen Steppen weithin anzutreffen. Im nordischen Walde ist das mit Moos oder Rinde bedeckte, freilich bereits eine höhere Technik erfordernde, wärmende *Blockhaus* die naturgegebene Wohnung, der tropische Wald stellt den Bambus als vorzüglichen Baustoff bereit. Niedrige Holzbauten empfehlen sich auch in *erdbebenreichen* Ländern wie Japan, um die elementaren Wirkungen der Erd-

erschütterungen wenigstens einigermaßen abzuschwächen. Die aus Ton und Lehm errichtete Hütte wird, wenn auch durch Stroh oder anderes Flechtwerk verfestigt, von Wind und Wetter leicht angegriffen; in ihren geringeren Formen sicherlich ein Ausdruck der Armut ihrer Bewohner, erreicht sie in Trockengebieten unter Verwendung an der Luft getrockneten (viel später erst gebrannter) Ziegel häufig monumentalen Charakter. Der Ziegelbau erobert nicht selten überhaupt jene Ebenenländer, denen festes Gestein fehlt. Vielleicht eine relative Armut an Holz, aber genügendes Lehmmaterial haben beide im mitteleuropäischen Fachwerkbau, dessen Holzgerüst mit Lehmwänden ausgefüllt erscheint, seit dem 14. Jahrhundert eine Verbindung eingehen lassen. Wo Steinbrüche angelegt werden können, wurde frühzeitig zum Steinbau, der dickwandig auch die Hitze mildert, geschritten; der römische Sieger verpflanzt den im Mittelmeer heimischen Steinbau später auch in die alpenländischen Provinzen. Natürlich bedeutet die Bedingtheit des Hausbaus vom Materiale nicht die einzige, wenn auch die augenfälligste Abhängigkeit der Siedlungsstätte von der Landschaft. Ihr Auftreten an einem bestimmten Orte wird erst aus anderen Momenten heraus ganz verständlich. Almhütten brauchen nicht bloß Holz zu Bau und Feuerung, sondern auch Lawinensicherheit; Fischervölker müssen ihre Wohnplätze nahe von Flüssen und Seen aufschlagen, Bauern auf oder bei anbaufähigem Boden. Und ähnliches gilt für die meisten menschlichen Siedlungen, vor allem für die bodenständigen, zu denen ja auch überwiegend die obengenannten Hausarten gehören. Denn die eigentlich bodenvage, vergängliche Niederlassung stellt meist eher als eine wirkliche Wohnstätte einen, allerdings vorsichtig gewählten Ruheplatz ohne weitere künstliche Zutaten dar; bald aufgegeben, hinterlassen sie auch kaum merkliche Spuren. Doch finden sich mannigfache Übergänge von hier zu den Jahrhunderte überdauernden Niederlassungen. Manche Nomaden wechseln ähnlich zwischen den immerhin gleichbleibenden Winter- und Sommerlagern wie einzelne Gebirgsvölker zwischen Sommer- und Winterdörfern; Hackbauer halten es nicht allzulange Zeit an einem Orte aus, und viele afrikanische Stämme verlegen durch Zusammenziehung ihrer flächenhaft aufgelockerten Ortschaften die Wohnplätze recht häufig. Überschwemmungsgefahr, Wirtschaftskrisen, kriegerische Ereignisse nötigen manchmal auch den seßhaften Siedler zum (wenigstens zeitweiligen) Aufgeben des Wohnraumes.

Es ist unschwer zu verstehen, daß übereinstimmende Landschaftsformen bei Vorhandensein gleicher Lebensbedingungen auch die Anlage der Siedlungen in bestimmte Richtungen drängen. Hoch- und Mittelgebirge, Hügel- und Flachland, Wald und Küste schaffen jeweils ähnliche Siedlungslagen, die Niederlassungen, die in ihrem Bereiche erwachsen, zeigen durch die analoge Lage Züge, die auch zu besonderer Namengebung führen können. Im Hochgebirge spielen die Sonnenseite wie überhaupt klimatische Eigentümlichkeiten (Bodennebel, Kälte der Talsohle, aber warme Talgehänge) neben Anbaufähigkeit des Bodens, Verkehrsgüte und bei voller Verwendung der aus der Nähe fließender Gewässer sich ergebender Vorteile doch auch Schutzbedürfnis gegen ihre Überschwemmungen eine große Rolle (Lawinen- und Wildwassergefahren kommen hinzu). Flachhang-, Terrassen-, Schuttkegel- und Gebirgsfußlage, Talweiten-, Talrand- und Uferwallage sind nur einige

der oft wiederkehrenden Typen im Hochgebirge. Das Mittelgebirge sieht seine größeren Siedlungen vorzugsweise auf den breiten Höhen und gerodeten sanften Gehängen, selten in engen Tälern; gut geschützte Punkte (Burgfelsen) werden hierbei bevorzugt, wechselnde Gesteinsbeschaffenheit ist nicht bloß wegen des Baustoffes, sondern auch wegen ihres verschiedenen Anbauwertes von Einfluß. Kalk zwingt, dem Wasser in den Tälern zu folgen und sein Vorkommen im Zusammenschluß zu größeren Ortschaften auszunützen. Im Hügelland sind weniger die Oberflächenformen als die allgemeineren Beziehungen zu Trinkwasser, Sonne und Wind wie das, gegebenenfalls zu Befestigungen greifende Schutzbedürfnis maßgebend; für das Flachland ist die Rücksichtnahme auf gesundheitliche Momente (Fieber in den Sumpfniederungen), Grundwasserhöhe und auf die die Ebene durchziehenden, als Verkehrsstraße willkommenen, um ihrer Hochwässer gefürchteten Flüsse charakteristisch. Die „Wurt"lage, das ist die Lage auf natürlichen oder künstlichen Hügeln, ist immer wieder zu beobachten. Der Wald schützt, wo dichtestes Urwaldgestrüpp nicht überhaupt jedes Bewohnen ausschließt; er nimmt verstreute, selten größere Niederlassungen auf in Lichtungen, entlang von Flüssen und spärlichen Pfaden oder an seinen Rändern. Das Heim vor Stürmen und Fluten zu bewahren und doch sich nicht zu weit von den ergiebigen Fischgründen zu entfernen, muß der Siedler an der Küste Bedacht nehmen. Deichlage ist für die Marschendörfer, Inselschutzlage, Insel-, Wurt- und Buchtenlage für so viele Fischerdörfer kennzeichnend; auch das Hallighaus hat Wurtlage, und die Lage hinter der Düne oder bei Steilküsten die (oft enge an die Felsgehänge geschmiegte) Strandstufen (Terrassen-) Lage sind überaus häufig. Die besonders begünstigten Stellen an Flußmündungen, zumal bis wohin die Flut vordringt, lassen gerne größere Siedlungen erstehen. Über die Verteilung unserer Siedlungen auf die Fläche, ob sie nahe beisammen oder weit voneinander entfernt liegen, ist freilich mit unseren Erwägungen noch nichts gesagt. Hier ist es auch kaum möglich, Regeln zu finden, da zuviel Momente zusammenwirken. Der nicht bloß aus seiner Bodenbeschaffenheit resultierende Wert oder Unwert des Bodens, die natürliche Pflanzendecke, Art und Intensität der Bewirtschaftung, Höhe über und Entfernung von dem Meere sind nicht minder wichtig als die Bodenform; aber auch kulturelle, ethnographische und politische Faktoren dürfen keineswegs übersehen werden.

Bei unseren bisherigen Ausführungen haben wir die Größentypen der Siedlungen: Einzelhof, Weiler, Dörfer, Städte unberührt gelassen. Man kann recht gut unabhängig von ihnen zu mancherlei Aufstellungen gelangen; aber auch die Betrachtung der Größentypen ergibt manches Lehrreiche. Zunächst: die Grenzen zwischen den einzelnen Typen sind vielfach fließend, da die geographischen Kriterien sich nicht scharf umreißen lassen. Die magyarische Dorfstadt, in ihrem äußeren und inneren Aufbau durchaus dörfisch anmutend, beherbergt auf weiter Fläche eine Einwohnerzahl, die oft die Hälfte jener überschreitet, bei der nach allgemeinem Übereinkommen bereits von Großstädten gesprochen wird. Auch für die anderen Typen gäbe es genug Grenz- und Übergangsformen als Beispiele. Wichtiger ist das Bestreben, auch zwischen jenen Arten von Siedlungen auf der einen, der Landschaft und dem Menschen auf der anderen Seite bestimmte regelmäßige Beziehungen aufzudecken. Der Einzelhof gilt als die charakteristische Form des ländlichen, in die

Nähe seiner Kulturen gezwungenen Siedlers, aber auch des Viehzüchters auf altem Siedlungsland wie auf Kolonialboden, besonders aber überall dort, wo wie z. B. im Hochgebirge die Möglichkeiten für Anbau und Wohnstätte auf wenigen, selten größeren Raum beschränkt sind. Aber auch die Vorliebe mancher Völker für die Einzelhofsiedlung wird heute überwiegend zugegeben. Dabei ist die Einzelhofsiedlung selbst, was ihre Form betrifft, noch in sich verschiedenen nach Stammeseigentümlichkeiten, geschichtlicher Überlieferung und dem Geschmack bestimmter Zeiten. Rauck's Kulturgeschichte des deutschen Bauernhauses oder Lauffer's Deutsches Haus in Dorf und Stadt gewähren da bequem tiefere Einblicke. Wir greifen einige Hausformen heraus. Hierher gehört das niederdeutsche (oder altsächsische) Haus, das als sog. Einheitshaus Wohnkammern, Wirtschaftsräume und Ställe unter demselben Dache birgt; diese stecken beiderseits der großen Diele, in deren Hintergrund sich der Herd befindet; im Raume links und rechts von ihm, der „Flett", wohnt das Gesinde. Schlaf- oder Vorratskammer und Wohnstuben schließen über die ganze Breite hin das Haus ab, unter dem hochgiebeligen Dach ist der Platz für die Vorräte. Nahe verwandt, aber durch seine größere Verselbständigung der Wohnräume charakterisiert ist das friesische Haus. Die Flett ist zur Hausflur geworden, von der aus die Wohnräume zugänglich sind. Die mitteldeutsche Hausform hingegen ist kein Einheitshaus, sondern ein Gehöfte, d. h. eine um einen Hof angeordnete, nach außen durch Mauer und Zaun abgeschlossene, zusammengehörende Gebäudegruppe; ihr weites Verbreitungsgebiet reicht quer vom Südwesten bis fast in den äußersten Nordosten Deutschlands. Das Wohnhaus steht mit dem Giebel zur Straße, in der gleichen Front liegen der Eingang für die Fußgänger, die Toreinfahrt für die Wagen und die eine Stallseite; auf dem anderen Ende des Hofes erhebt sich die Scheune. Das Ganze ist als Fachwerk- oder als Blockbau errichtet, gelegentlich durch Muster, Lauben u. dgl. verziert. Als eine der häufiger vorkommenden Mischformen ist das altsächsisch (niederdeutsche)-mitteldeutsche Gehöfte anzusprechen, bei dem das Hauptgebäude Wohnräume und Ställe vereinigt, während Wirtschaftsräume und Scheune davon getrennt sind. Die oberdeutsche, alemannische Hausform ist wiederum ein Einheitshaus; ist der Boden, auf den es hingestellt ist, uneben, so liegen meist die nach vorne gewendeten Wohnräume (durch eine Treppe zugänglich) und die durch Anstieg zu erreichende Tenne an der erhöhten Rückseite im ersten Stock, unter dem im Vorderteil des Hauses Nebenräume erstehen können. Ein weiterer Typus ist das bajuwarische alpine Einheitshaus, wie jenes aus Holz, Fachwerk oder Stein hergestellt; gelegentlich ist es so ausgebildet, daß die Ställe im ganzen Untergeschoß, die mit Lauben und Gallerien umgebenen Wohn- und Vorratsräume darüber liegen. Zwei fremde Hausformen, auf die hier nur hingewiesen sei, sind z. B. das städtische Einheitshaus Lothringens und das litauische Gehöft.

Stehen mehrere Höfe unweit, ziemlich regellos beieinander, so spricht man von Weilern. Sie leiten zu den Dörfern über, deren Kennzeichen ihnen gegenüber nur eine größere Zahl der Wohnstätten und ein bestimmter Grundplan in der Gruppierung ausmachen. Beide aber sind bereits im Gegensatz zum Einzelhof und zum Gehöfte Gruppensiedlungen, zu denen gesellschaftlicher Trieb, größere Schutz-

sicherheit und wirtschaftliche Bedürfnisse schon primitive Völker, bei denen sie übrigens vorwalten, veranlassen, zu denen man aber auch z. B. in Gebieten jüngerer europäischer Kolonisation vielfach dort schreitet, wo der wirtschaftliche Erfolg durch gemeinsame Arbeit schneller erreicht werden kann. Die bekannten, vor allem mitteleuropäischen dörfischen Siedlungsformen hervorgebracht nach neuerer Ansicht vielleicht weniger durch nationale als wie durch landschaftliche Eigentümlichkeiten bzw. durch eine zu einer bestimmten Zeit verbreitete oder durch eine bestimmte Bodenbeschaffenheit bedingte Art der Flurverteilung, sind Rundling (oder Runddorf), Haufen- (oder Gewann-)Dorf, Straßendorf, Reihendorf (Waldhufen-, Marschendorf). Beim Rundling liegen die Grundstücke und auf ihnen die Häuser mit ihren Giebeln um einen mehr oder minder runden Platz, zu dem nur von einer Seite ein Zugang führt: eine Siedlungsform, die sicherlich, im Gegensatz zu früheren Annahmen, nicht den Slawen eigentümlich ist; man faßt sie heute eher als Schutztypus oder als Sonderart der Haufendörfer von Viehzüchtern auf. Das Haufendorf, typisch bei der Einteilung der Feldflur in Gewannen (Stücke von verschiedener Größe und Form, aber ungefähr gleichem Bodenwert), besitzt unregelmäßigen Grundplan und scheinbar willkürliches Wegenetz, seine Gehöfte stehen gegenseitig voneinander ab; es ist die eigentlich germanische und zumal im offenen, ebenen Gelände auch zweckmäßigste Siedlungsform. Das (slawische?) gewiß gelegentlich auch aus Weilern und Haufendörfern hervorgehende Straßendorf ist dadurch gekennzeichnet, daß längs des Weges Gehöfte so eng nebeneinander liegen, daß hier nur die Giebelseite der Wohnhäuser, die Wirtschaftsgebäude aber erst dahinter Platz finden können. Das dicht Nebeneinandergedrängtsein unterscheidet das Straßendorf von den beiden Typen der Reihendörfer, deren lange, lose, einem Wege folgende Kette einen weiten Abstand der einzelnen Gehöfte voneinander bedeutet; sie sind an die gleichmäßige Aufteilung der Feldflur geknüpft, denn die Grundstücke ziehen hinter den einzelnen Gehöften als schmale Streifen ungefähr senkrecht vom Wege ab. Bei den Waldhufendörfern geht der Weg in einer Talsohle, deren Windungen die Gehöfte und die bis ziemlich hoch auf die Talgehänge hinaufreichenden Grundstücke sich anpassen, bei den Marschendörfern ist die Dorfstraße an der Deichinnenseite geradlinig, auch die Grundstücke laufen als regelmäßig gerade Streifen, und zwar selbstverständlich nur nach der einen, vom Deich abgewendeten Seite hin. Straßen- und Reihendörfer sind in ihrer Entstehung irgendwie mit einer naturhaften oder künstlichen Weglinie (auch im Urwald) verbunden. Ist ein Dorf abseits von der Hauptstraße gebaut, so spricht man von Gassendörfern; ihr Ursprung wird entweder auf eine Zusammenfassung mehrerer Rundlinge oder auf eine Abart der Straßendörfer zurückgeführt.

Dorf und Stadt als verschiedene Wesenheiten sind nicht leicht gegeneinander abzugrenzen. Und doch sind, obwohl auch die Umbildung vom Dorf zur Stadt häufig genug zu beobachten ist, gewöhnlich schon im Mittelalter wenigstens in Deutschland Anlage, Aussehen und Berufsstruktur der Bevölkerung für Dorf und Stadt andere. Wer kennt nicht das Aussehen einer modernen Stadt, die dem Blicke von einem erhöhten Punkte aus ein schier unübersehbares Gewirre von Dächern der Wohnhäuser zeigt, aus deren ziemlich gleich hoher Ebene nur gelegentlich Kirchtürme und

andere Monumentalbauten (Rathaus, Museen, Theater u. a.) emporragen. In weit höherem Grade als das Dorf ist die Stadt Handels- und Marktmittelpunkt, also in Entstehung und Wachstum weit mehr verkehrsbedingt als jenes: „der Verkehr ist städtebildend, die Stadt muß ein Knotenpunkt wichtiger Straßen sein". Die Stadt zeigt auch gegenüber dem Dorfe abweichende Beziehungen zum Gelände; das Dorf ist noch an Stellen möglich, die städtische Siedlungen ausschließen würden wie umgekehrt der Verkehr Städte an Punkten emporkommen läßt, die von Dörfern vermieden werden. Die Dorfbewohner haben den Schwerpunkt ihrer wirtschaftlichen Tätigkeit in der unmittelbaren Umgebung ihrer Orte, dort liegen die Felder; die Stadt findet den Kern ihres Betätigungsfeldes, dessen Quellen sie auf zahlreichen Wegen in sich hereinzieht, innerhalb ihrer Baufläche. Engstes An- und Übereinanderrücken der Wohnstätten sind wohl gute, aber nicht unbedingt notwendige Merkmale der Stadt. Eine Einteilung kann unter dem Gesichtspunkt der wesentlichen wirtschaftlichen Betätigung der Bewohner oder den ihren Erwerb bestimmenden Zweig (Badeort, Bergbau-, Industrie-, Handelsstadt) oder auch unter dem der fast immer verkehrsbedingten geographischen Lage erfolgen (Küsten- oder Hafenstadt, Brücken-, Paßstadt). Die Einteilung kann aber auch von dem nach der politischen, militärischen oder geistig-kulturellen (auch religiösen) Seite hin hervorstechenden Kennzeichen genommen sein (Regierungs- oder Verwaltungssitz, Flottenstützpunkt, Garnisonsort, Bischofsstadt, Wallfahrtsort, Universitätsstadt). Es gibt zweifellos typische städtische *Verkehrslagen*, wenngleich naturgemäß die Entscheidung für die Wahl des Ortes bei Neugründungen zu verschiedenen Zeiten unter wechselnden Erwägungen (einmal mehr unter denen der Sicherheit, ein andermal der besseren Verkehrslage) getroffen wurde, überhaupt aber nicht immer nur ein Motiv für die Anlage wirksam gewesen zu sein, ein Wesenszug allein den Charakter einer heutigen Stadt auszumachen braucht (die Ortsnamenforschung gibt da auch für die Städte wertvolle Fingerzeige). Das menschliche Schutzbedürfnis hat auch bei Städteanlagen, oft hervorragend, mitgesprochen; die antike und häufig genug auch die mittelalterliche Stadt ließen sich gern im Schatten eines *Burgberges* nieder (Athen, Theben, Meißen, Prag, Graz), man bevorzugte Flußschlingen, Halbinseln und nahe Küsteninseln (Rothenburg ob der Tauber, Tyrus, Karthago, Cadix). Auch unter den Verkehrssiedlungen treten einige Typen immer wieder in Erscheinung. Die *Mittelpunktslage* innerhalb einer kleineren oder größeren natürlichen Landschaft ist die eine; wie zur Spinne im Netz laufen alle Verkehrsfäden, unter denen Flüsse eine besondere Rolle spielen können, in ihr zusammen (Paris, Berlin, Mainz, St. Louis und manche andere Stadt). Aber auch *Grenzlage* am Rande von Gebirgen, einer landschaftlichen oder kulturellen Einheit bzw. im Berührungspunkt zweier, ist nicht selten, zumal wenn andere Momente dies begünstigen; Salzburg an einem auch durch einen Fluß markierten Eingangstor in die Alpen ist ein Beispiel für viele. Grenzlage haben im Grunde auch die *Hafenstädte*; weniger bedeutend, wenn sie vom Hinterland verkehrsabgeschlossen nur für den Küstenverkehr in Frage kommen, erwachsen sie zu außerordentlicher Blüte, wo sich an einem, vielleicht auch noch durch die Mündung eines schiffbaren Stromes unterstützten Umschlagplatz Land- und Seeverkehr verknoten. Es gibt ferner Städte, die den Verkehr, Wege sammelnd und ausstrahlend, über besondere, von der Natur herausgehobene Punkte leiten: entweder über einen

Fluß an geeigneten Übergangsstellen (Furten, Brücken), so die beiden Frankfurts, Magdeburg, Warschau; oder durch schmälere Lücken zwischen zwei nahe aneinandertretenden Gebirgen wie im österreichischen Alpenvorlande; oder schließlich über gut begangene Paßlinien, an deren Enden sie erstehen, so Chur und Como an der Splügenstraße. Dem Verkehr verbunden sind auch jene Städte, welche ihre Eigenart aus der wirtschaftlichen Betätigung ihrer Bewohner ziehen. Industriestädte, besonders in natürlichen Kraftgebieten (Kohle, Wasser, Wind) dicht gedrängt, können bloß durch ungehemmten Rohstoffbezug und Warenabsatz ihr Dasein erhalten. Ganz selbstverständlich ist diese Verkehrsbedingtheit auch für Handelsstädte; sie wachsen mit der Ausdehnung ihrer Verkehrseinflußsphäre und verlieren ihre Bedeutung, je kleiner ihr Verkehrsradius wird. Verkehrsverlegung (was ebenso für den Land- wie für den Seeverkehr und für jede Zeit gilt) beeinflußt alle Typen außerordentlich. Die an Fundstätten von Bodenschätzen oder an Heilwässern erstehenden Städte sind in ihren Anfängen vom Verkehr unabhängiger; sie ziehen oftmals die Verkehrswege erst nach sich, vergrößern sich aber dann freilich mit ihrer Vermehrung, solange Gruben und Quellen ihren Segen spenden. Auch politisch oder in geistig-kultureller Hinsicht führende Städte sind infolge ihrer anderen Lebensstruktur dem Verkehr gegenüber freier.

Die bisherige Besprechung von Städtetypen hat uns noch nicht mit allen zu ihrem Wesen gehörenden Merkmalen bekannt gemacht. Und doch zeigt auch bei den Städten die Anlage (Grund- und Aufriß) trotz mannigfacher individueller Anpassung an die gegebenen Landschaftsformen übereinstimmende Züge, selbst ihr Wachstum unterwirft sich gewöhnlich gemeinsamen Regeln; freilich gilt dies immer nur für gewisse, ethnographisch oder kulturell gleichartige, beziehungsweise durch staatliche oder historische Gemeinschaft verbundene Gebiete und die einzelnen Zeiten schaffen wechselnde Typen. Man denke hier an die Gedrängtheit und Schiefwinkligkeit von Häusern und Gassen in der mittelalterlichen und orientalisch-islamischen Stadt gegenüber der Weiträumigkeit und Rechtwinkligkeit von Gebäuden und Straßen in den Städten etwa des romanischen Amerika. Häufig prägt auch die gleiche Zweckbestimmtheit Städten oder wenigstens Teilen derselben ein ähnliches äußeres Gesicht auf; man kennt den Typus der Arbeiter- und Hotelviertel, der Industrie- und Villen- (Cottage-)Viertel. Die Anlage älterer städtischer Siedlungen, die Anfänge wie spätere Entwicklungsphasen verrät am besten der Stadtplan; er läßt Alt- und Neustadt, den unregelmäßigen, mauerumwehrten Kern mit engen, krummen Gassen und die weitere, viel regelmäßigere Ausbreitung in den „Vororten" erkennen; diese sind wieder verschieden nach Gelände und wirtschaftlichem, gelegentlich auch nationalem Charakter, ja selbst nach der Lebensauffassung und Vermögenslage der Bewohner (Einfamilienhaus!). Ein solcher Kern fehlt dagegen oft neuen Fabrikstädten, und die Unregelmäßigkeit der ersten Anlage findet sich nicht bei jüngeren Städten, die zielbewußt nach einem Plan (sternförmiger, schachbrettartiger Grundriß) gegründet wurden; dafür sind Karlsruhe und die meisten Städte des germanischen Nordamerika oft genannte Belege. Das Wachstum der Stadt, hervorgerufen durch ein Zuströmen der Bevölkerung vom Lande infolge tiefgreifender wirtschaftlicher Veränderungen, wie solche am Ausgang des Altertums die Vereinigung des Landbesitzes in den Händen Weniger, im hohen

Mittelalter der Aufschwung des Gewerbes, seit dem 18. Jahrhundert von Industrie und Verkehr bedeuten, lassen in der Gegenwart vor allem den Typus der sogenannten „City-Bildung" erkennen. Der alte, enge Kern wird aus einem bisherigen Wohn- zum Geschäftsviertel, man verbreitert die Straßen, um für den modernen Verkehr Platz zu schaffen, baut die neuen Geschäfts- und Kaufhäuser in die Höhe (Wolkenkratzer!) und hält sich nur während der Arbeitsstunden hier auf, während man in der womöglich luftiger und weiträumiger gebauten Peripherie wohnt. Weil dieses Wachstum am Außenrande kaum zur Ruhe kommt und gerade hier der städtische Charakter durchaus nicht immer klar ausgesprochen ist, wird es auch schwer, die geographischen Grenzen einer heutigen Stadt, also die Bodenfläche festzulegen, auf der sie sich mit allen Wohn- und Arbeitsstätten als eine im ganzen doch zusammenhängende, städtisch ausgebaute, also die mehr ländlichen, vorgeschobenen Posten ausschließende Siedlungseinheit erhebt. Ein Aushilfsmittel ist es, den Verkehr als Kriterium heranzuziehen und die Großstadtgrenze in die Stunden-, die Grenze der Mittelstadt in die Halbstunden-Isochrone zu zerlegen, das heißt in jene Linie, die man innerhalb einer, beziehungsweise einer halben Stunde bei Benützung der besten öffentlichen Fahrgelegenheit und entsprechender Wartezeit vom Mittelpunkt aus erreichen kann. Ein derartiges Isochronenkärtchen läßt auch gut das lineare Ausgreifen der Stadt längs größerer Verkehrswege, aber auch künstliche und natürliche Verkehrshemmungen sichtbar werden. Über diese geographische Grenzen, das geographische Weichbild hinaus reicht freilich der städtische Machtbereich, innerhalb dessen noch eine gewisse Regelmäßigkeit wirtschaftlicher oder kultureller Beziehungen möglich ist.

Ganz kurz sei auch ein Hinweis auf den Begriff der mittleren Wohndichte gegeben, das ist die Größe, die man bekommt, wenn man die Zahl der Menschen zum Beispiel einer Stadt durch die von ihr bedeckte Fläche dividiert. Allerdings ist dabei zu beachten, daß in der Grundfläche Straßen, Plätze, Gartenanlagen, Gewässer mit enthalten und auch Fabriks- und Geschäftsviertel, Regierungs- und Cottageviertel nicht geschieden sind.

Zum Schluß einige Beispiele für Städteentwicklungen. Nürnberg ist von der Kaiserburg aus gewachsen, die auf einem Sandsteintafelberg nach 1025 sich erhob. An ihn und seine gegen Osten gerichtete Fortsetzung lehnte sich bis zur unverbauten, sumpfigen Pegnitzniederung die unregelmäßige Altstadt mit St. Sebald als kirchlichem Mittelpunkt an, jenseits (südlich) der Pegnitz entwickelte sich als Kaufmannssiedlung eine zweite Altstadt mit regelmäßigen Straßen und mit St. Lorenz als Pfarrkirche; um 1300 sind bereits beide Stadtteile von einer gemeinsamen, der zweiten, Mauer umgürtet. Schnell dehnt sich die Stadt nach Süden und Osten weiter aus und schon zwei Generationen später, unter Karl IV., wird die dritte Befestigung in Angriff genommen, — aber erst in der Mitte des 16. Jahrhunderts vollendet, die, noch heute fast ganz erhalten, die innere Stadt, die frühere Reichsstadt, umgibt. Seither haben sich zahlreiche Vororte nach allen Seiten hin gebildet, die Industrie hat in die alte Handelsstadt Einzug gehalten und auch ihren baulichen Charakter vielfach verändert. Rostock läßt noch heute in seinem Stadtplan erkennen, daß es aus drei, jede für sich typischen östlichen Kolonialstädten zusammengewachsen ist. Die Altstadt, zu Anfang des 13. Jahrhunderts besiedelt,

lag der Warnow am nächsten und hatte bereits eine diesem Fluß noch enger angeschmiegte Wendensiedlung vorgefunden; noch bis zur Mitte desselben Jahrhunderts entwickeln sich gegen Westen hin Mittel- und Neustadt, bald umzieht die 1265 zu einem Gemeinwesen vereinigten Teile eine gemeinsame Mauer; langsam wird das noch freie Gelände ringsum verbaut. Berlin erwuchs aus zwei Städten beiderseits eines wichtigen Überganges (Brücke) über die Spree, aus dem einstigen Fischerdorf Berlin auf dem rechten Spreeufer und Cölln auf einer Insel dieses Flusses. Die Mauer, die beide zu Anfang des 14. Jahrhunderts umgab, ist heute im Straßenzuge noch ersichtlich. Die ebenfalls im Straßenzuge noch gut erkennbare Mauer, die vier Jahrhunderte später der Große Kurfürst schuf, umfaßte bereits die Siedlungen, die sich gegen Südwesten (in der Richtung einer wichtigen Handelsstraße) und gegen Norden gebildet hatten, hier in Fortsetzung von Cölln im Gefolge der landesfürstlichen Anlage von Burg und Dom. Außerhalb der Mauer war gegen Westen hin noch im 17. Jahrhundert die Dorotheenvorstadt entstanden, die sich um die 1697 geschaffene Straße Unter den Linden entwickelt hatte. Andere Vorstädte folgten rasch, wie die Leipziger Vorstadt im Südwesten, die Köpenicker und Stralauer an der Spree, die Georgenvorstadt im Nordosten und die Spandauer im Norden. Sie werden zu Anfang des 18. Jahrhunderts unter Friedrich Wilhelm I., der die früheren Wälle teilweise niederlegte, von einer schwachen Befestigungsmauer umschlossen, die auch viel unverbautes, erst, wie zum Beispiel die regelmäßig angelegte Friedrichsstadt, im 19. Jahrhundert ausgefülltes Gelände mit umgab; sie diente überwiegend (und bis 1868) als Zollgrenze. Ursprünglich Handelsort, später Residenz-, Garnisons- und Beamtenstadt wird Berlin seit der Mitte des 19. Jahrhunderts Verkehrsmittelpunkt, zu dem die Bahnlinien von allen Seiten geleitet werden, der auch im Wasserverkehr eine sehr bedeutende, steigende Rolle spielt und so auch immer mehr Industrien anlockt; 1871 wird Berlin Reichshauptstadt, deren Gebiet beständig nach außen wächst, wobei aus den früheren Vorstadtdörfern schnell Großstädte werden, es entsteht Groß-Berlin, das bereits 1925 über 4 Millionen beherbergt. „Die Wohnviertel entwickeln sich dabei nach Südwesten hin, die Industrie sucht die Gewässer, im Nordwesten den Tegeler See, im Osten vornehmlich die Spree, während das Innere mehr und mehr zu der nachts und an Feiertagen fast unbewohnten City wird, in deren Aussehen einerseits die öffentlichen Gebäude, andererseits die Waren- und Geschäftshäuser vom Stile der Wertheimschen Bauten und der Deutschen Bank alles Übrige verdrängen." Wien bildete sich aus einem römischen Lager des 1. nachchristlichen Jahrhunderts, das seinerseits bereits eine keltische Siedlung vorgefunden hat. Das Lager ist in seinen beiden Hauptstraßenzügen noch erkennbar, es wird zeitweilig erweitert. Innerhalb des mauerumwehrten alten Teiles findet sowohl das hier entstandene Dorf der Völkerwanderungszeit als das Wien der Babenberger-Markgrafen Raum, nur die „curia" und einige andere, im wesentlichen auf der Fläche des erweiterten römischen Lagers liegende Bauten müssen erst in eine neue Mauer einbezogen werden. Bis zur Mitte des 13. Jahrhunderts sind drei weitere Mauerringe notwendig, um die sich gegen Osten und Süden ausdehnende Stadt schützen zu können. Lange Zeit bleiben nun die Grenzen der Stadt dieselben, es ist fast zur Gänze der heutige erste Bezirk. Ihn umgibt im 17. Jahrhundert vor den verbesserten Befestigungen ein breiter unverbauter Glacis-

ring (die gegenwärtige Ringstraße), vor ihm ziehen die alten dörflichen Vororte (bajuvarische Geschlechtsnamen auf -ing) mit Gärten und Wiesen weithin nach Westen und Süden. Bereits in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts siedelt sich einige Industrie an, im 19. werden zunächst die inneren, dann auch die äußeren Vororte immer schneller städtisch ausgebaut und um die Wende zum 20. Jahrhundert auch in den Gemeindeverband aufgenommen. Groß-Berlin bedeckt eine Fläche von 878, Groß-Wien (mit fast 2 Millionen Menschen) eine Fläche von 278 qkm.

IV. Die Volksdichte.

Unsere topographischen Karten größeren Maßstabes geben (durch nach der Größe abgestufte symbolische Zeichen) im allgemeinen eine gute Übersicht über die Verteilung der Siedlungen, ihre Größe und gegenseitige Entfernung. Wir können sie als Wohnplatz- oder Siedlungskarten verwenden und nach ihnen die Siedlungsdichte ziffernmäßig berechnen, indem wir die Fläche eines bestimmten Wohngebietes durch die Zahl der Wohnplätze auf ihr dividieren (die Quadratwurzel aus der für die Siedlungsdichte gewonnenen Größe ergibt die mittlere nächste Entfernung der Wohnplätze voneinander). Verschieden von der Siedlungsdichte ist der Begriff der Volksdichte oder relativen Bevölkerung, das ist die mittlere Zahl der Menschen auf der Flächeneinheit, gewöhnlich dem Quadratkilometer (Bevölkerungsziffer einer bestimmten Fläche dividiert durch diese); wobei natürlich im Auge zu behalten ist, daß diese Zahl niemals die wirkliche Verteilung, die sich ja nicht gleichmäßig über die Fläche hin vollzieht, wiedergeben kann. Die Ergebnisse werden geographisch um so wertvoller sein, je kleinere Flächen zugrunde gelegt werden und je weniger diese politische, je mehr sie natürliche Einheiten sind. Wird die Berechnung für kleinere Gebiete durchgeführt, so werden größere Städte auszuscheiden sein, um das Bild nicht zu fälschen, ebenso wird man (auch für die kartographische Darstellung) größere Richtigkeit erzielen, wenn man in Wüsten (Steppen), Hochgebirge oder Urwald die oft einzig besiedelten Oasen, Tal- oder Flußstreifen von der übrigen, so gut wie unbesiedelten Fläche scheidet. Ähnlich ist es, wenn man die weiten unbewohnten Flächen, die sich in jungen Kolonialländern zwischen den schmalen, gegen das Innere vordringenden Siedlungslinien ausbreiten, heraushebt. Überhaupt wird, zumal in Gebieten ungleichmäßiger Ansiedlung die nackte Dichtezahl weniger ausdrucksvoll sein als wenn man sie in Beziehung setzt zu ihren geographischen Bedingungen: Boden (Höhe, Gesteinszusammensetzung, Wert), Klima, Pflanzendecke, wirtschaftlicher und Kulturzustand. Ganz grob nur ist das Bild, das wir aus folgenden Zahlen gewinnen können: es haben, bei einer absoluten Bevölkerungszahl von 1725 Millionen, eine mittlere Dichte

Die bewohnte Landfläche (132 Mill. qkm)	von	13	auf	1 qkm
Europa	„	45	„	„
Asien	„	24	„	„
Nordamerika	„	7	„	„
Afrika	„	4,5	„	„
Südamerika	„	3,7	„	„
Australien und Ozeanien	„	1	„	„

oder:	von den 132 Mill. qkm bewohnter Landfläche							
	sind stark	bevölkert	(über 100	auf 1 qkm)	rund	3	Mill.	qkm
	gut	„	(50—100	„ „)	„	3	„	„
	mäßig	„	(10— 50	„ „)	„	13	„	„
	schwach	„	(1— 10	„ „)	„	13	„	„
	sehr dünn	„	(unter 1	„ „)	„	100	„	„

Doch leistet immerhin die zweite Tabelle gute Dienste, wenn man sie durch eine genaue Volksdichtekarte ergänzt. Deutlich zeigt sich das Überwiegen der sehr dünn oder gar nicht bewohnten Gebiete (mit fast 76% der gesamten bewohnten Landfläche). Und zwar sind es die polaren, die Wüsten und Steppenregionen, die tropischen Kulturwälder und nordischen Waldgürtel, die aus verschiedenen Gründen fast oder ganz menschenleer sind. Der fehlende Pflanzenwuchs, Mangel an Wasser, ungesundes Klima, primitiver Wirtschaftsbetrieb (Fischer, Jäger, Hirten, Hackbauer) tragen dazu bei. Bei Hirtenvölkern kommen selten mehr als zwei Menschen auf den Quadratkilometer, bei Fischern und Jägern ist sogar, weil die Räume so sehr über die Menschen überwiegen, die Berechnung einer eigentlichen Dichtezahl gar nicht möglich, sondern man sagt besser: einem Menschen stehen Flächen von weit über 100 qkm zur Verfügung. Nach den Berechnungen von Krebs haben weniger als 1 auf den Quadratkilometer (oder sind ganz menschenleer) 78% Australiens und Ozeaniens, 72,2% Südamerikas, 58,1% Nordamerikas (ohne die polaren Inseln), 52,3% Asiens. Die Bevölkerungsdichte 1—10 (ungefähr 10% der gesamten Landoberfläche) findet sich in weiten Teilen (61,7%) Afrikas, so in seinen Savannen und Trockenwäldern, in 26,4% Südamerikas, wo die europäische Kolonisation verhältnismäßig jung ist, in 21,8% Australiens, und zwar in dessen Südosten. Aber auch in Nordamerika liegen noch immer 22,5% seiner Fläche (wieder ohne die polaren Inseln) unter einer Dichte von 10 Menschen auf dem Quadratkilometer, in Asien 22,9%, selbst in Europa noch 13,7%; diese Dichte reicht bis zur Grenze des regelmäßigen Ackerbaus, die in Europa etwa zwischen 60 und 61°, in Asien und Nordamerika zwischen 58 und 55° (50° an den kontinentaleren Ostseiten) zu legen ist. Wir nennen hier nur noch die dichtest besiedelten Teile der Erde; es sind Ostasien (China, Japan), und zwar vor allem in den Niederungen, Vorderindien, hier wiederum die Küste und die hindustanische Tiefebene weit mehr als das Hochland von Dekhan, Java, das untere Niltal und einzelne Teile Europas; zu diesen gehören das außeralpine Norditalien, das oberrheinische Gebiet mit Saar-, Neckar- und schweizerischem Flachland, die rheinisch-westfälische Region, das nordfranzösisch-belgisch-niederländische Gebiet, eine im ganzen zusammenhängende Fläche des eigentlichen Mitteleuropa, die vom Weserbergland und Sachsen über die sudetenländische Tschechoslowakei nach Oberschlesien übergreift und schließlich Großbritannien mit den schottischen Niederlanden, dem unteren Themsebecken, den Kohlengebieten von Südwales und mit Mittelengland. Bei allen diesen Ländern handelt es sich teils um gut bewässerten, intensiv bebauten und überaus fruchtbaren Ackerboden in warmen Ländern, teils, bei schlechtem Ackerland und weniger günstigem Klima, um städtereiche Industriegebiete. Jener kann in den Tropen bei mehrfacher Jahresernte bis zu 400 Menschen auf dem Quadratkilometer ernähren, die freilich bei

Mißwachs Hungerkatastrophen anheim gegeben sind; in Mitteleuropa dürften reine Ackerbaugebiete kaum eine höhere Bevölkerungsdichte als 100, in Südeuropa oder sonst — auch bei großer Bedürfnislosigkeit der Menschen — eine höhere als 150—200 ertragen, in Wirklichkeit bleiben viele Teile stark darunter. Im Gebirge hält sich die Volksdichte stets unter 100, in Deutschland wird sie, wenn Weide und Wald nicht allzu große Flächen einnehmen, mit 30—40 anzunehmen sein. Industriegebiete sind in ihrer Nahrungsmittelversorgung auf auswärtige Zufuhren angewiesen; sie können sich aber auch zu größeren Dichten erheben: das mittelenglische Kohlengebiet weist auf rund 4500 qkm eine Dichte von mehr als 800 auf, die rheinisch-westfälische Region besitzt auf rund 1300 qkm sogar eine Dichte von weit über 1000. Noch lange nicht sind übrigens alle Teile der Erde von so vielen Menschen besiedelt als ernährt werden könnten; dies gilt u. a. für große Teile der Vereinigten Staaten von Amerika, Kanada, Mittelafrika, Hinterindien, Brasilien. Nicht überall wird allerdings der Europäer dauernd seßhaft zu werden vermögen, auch ist zu bedenken, daß es sich hier vielfach um Gebiete handelt, in denen jetzt wenige Menschen mittels Maschinen dem Boden große Erträge abgewinnen, so daß aus dem Nahrungsmittelüberschuß die dicht besiedelten Industriegebiete Europas erhalten werden können; eine weitergehende Verdichtung dort würde notwendig von einer Verminderung der Ausfuhr begleitet sein. Immerhin gibt es aber noch genügend Länder mit extensiver Wirtschaftsweise und auch bei Berücksichtigung des ungleichen Bodenwertes großer Strecken, einer gewissen klimatischen Benachteiligung mancher Gebiete (frühe und lange Winter) und der Forderung einer bestimmten Höhe der Lebenshaltung würde die Volksdichte großer Räume noch eine Steigerung ertragen; zumal selbst, wo hohe Dichtezahlen sich finden, diese häufig durch das Überwiegen der Städte bewirkt werden, während das flache Land sogar unter Menschen-(Arbeiter-) Mangel leiden kann. Wohnen doch in ganz Deutschland 62,9%, in England und Wales 78%, im Staate New York (Ver. Staaten v. Amerika) 82,7% der Bevölkerung in Städten. Wenn wir auch nicht, wie es behauptet worden ist, glauben, daß die Erde noch eine drei- bis vierfach größere Menschenmenge als heute aufnehmen kann, und wir zugeben, daß es örtliche Übervölkerungen infolge verschiedener natürlicher Ausstattung, Verkehrs- und Kulturhöhe wie verschiedener Ansprüche des Menschen an das Leben immer gegeben hat und solche noch heute vorkommen können, so dürften doch nur wenige kleine Gebiete faktisch übervölkert, d. h. an der Grenze der möglichen Bodenbestellung angelangt sein.

Es ist durchaus begreiflich, daß im allgemeinen die Volksdichte mit der Höhe abnimmt, oder, was dasselbe bedeutet, die meisten Menschen in der Ebene (Küste) oder im niederen Hügelland wohnen, da hier Klima und Bodengüte den Ackerbau fördern, aber auch die Industrie meist gute Bedingungen findet. Wüstenhaftes und daher menschenarmes Tiefland ist auf der Erde nicht häufig, die trockenen Landschaften sind meist Hochländer. Nur im tropischen Amerika ist, und war schon zur Zeit der Entdeckung, das Hochland besser bewohnt als die ungesunde Küste; auch ist die natürliche Siedlungsfläche auf den Höhenplateaus mancher deutschen Mittelgebirge größer als an ihren Gehängen. Ansonsten zeigen Gebirgshöhen größere Dichtigkeit bloß in breiten, wenigstens die Viehzucht begünstigenden Tälern und dort, wo der Bergbau einst oder noch jetzt Ansiedler in an und für sich wenig dankbare Gebiete lockte.

V. Verkehrswege und Verkehrsmittel. Die Wege des Weltverkehrs.

Siedlungen, Volksdichte und Verkehr stehen in natürlichem Zusammenhange. Der Verkehr verbindet die Siedlungen, er vergrößert sich, je mehr Menschen beisammen wohnen. Die Wege sind die auffälligsten Spuren des Verkehrs; ihre Anlage und Richtung sind nicht bloß durch das Bedürfnis nach der kürzesten Erreichung des zu Verbindenden, sondern auch dadurch bestimmt, was die Natur an Förderungen oder Hemmungen entgegenstellt. Das Meer, der größere See sind gewöhnlich wegfreundlicher als das Land, hier bietet der ebene, feste und trockene, dürftiger bewachsene („wegsamere") Boden weniger Schwierigkeiten als der nur mühsam sich öffnende und schwer offen zu haltende Urwald oder das nur durch Talschluchten zugängliche Hochgebirge mit steilem und schmalem, kaum geschartetem Kamm. Flüsse, Sümpfe legen häufig Hindernisse „in den Weg", und wenn auch heute die Technik unüberwindliche Schranken kaum kennt, je kühner die Leistung, die man von ihr fordert, desto seltener nimmt man sie naturgemäß doch in Anspruch — desto wegärmer also ist das Gebiet. Man versteht, welche Bedeutung einst Furten oder Stellen besitzen mußten, die das Schlagen einer Brücke erlaubten. Der Verkehr bedarf aber nicht bloß des Weges, auf dem er sich, sondern auch des Verkehrsmittels, durch das er sich vollzieht; beide sind, vielfach sich gegenseitig beeinflussend, nach Zeiten, Ländern und Kulturhöhe verschieden, auch vom Zweck abhängig, den sie erfüllen sollen. So können Menschen und Tiere, Schiffe, Wagen und Schlitten, Eisenbahn, Fahrrad, Kraftwagen, das Luftfahrzeug als Verkehrsmittel dienen (womit beileibe nicht alle aufgezählt sind), als Wege Fuß- und Saumpfad, Fahrstrecke, Schienenstrang, die Luft oder der Rücken von Fluß, See oder Meer. Das dritte Element des Verkehrs ist das Verkehrsgut; als solches kommen Personen, Waren und Nachrichten in Betracht, die einzeln oder in Menge (Heere, Großstadtbevölkerung, Briefpost, Massengüter), langsam oder rascher (Schnellverkehr) fortbewegt werden können. Aus der Verbindung dieser drei Elemente erwachsen bestimmte, oft für weite Gebiete charakteristische Verkehrstypen. Schmale, ausgetretene Fußpfade, auf denen ein Träger rund 25—35 kg schwere Lasten bewältigt, sind auch heute noch dem tropischen Afrika und manchen Sundainseln eigentümlich; häufig ziehen mehrere Menschen hintereinander, und zwar hauptsächlich in der Dürrezeit, wo nicht Überschwemmungen und hoher Graswuchs die Gangbarkeit bedrohen. Der Saumverkehr bedient sich meist des Kamels, Maultieres oder Pferdes als Last- bzw. Reittieres auf überwiegend recht dürftigen, nur gelegentlich vom Menschen nachgebesserten Saumpfaden. Sandwüsten und wüstenhafte Steppen wären ohne das unendlich genügsame Kamel, das rund 150—200 kg auf sich zu nehmen vermag, vielfach nicht zu durchschreiten; die lange Reihe der Karawane bewegt sich langsam in Tagesleistungen von 30—50 km auf manchmal kaum kenntlichem, von Sand und Feinden umlauertem Wege von Oase zu Oase. Auf Reitkamelen können einzelne in kürzerer Zeit beträchtlich größere Strecken überwinden. In den Gebirgen des romanischen Amerika und südlichen China, wo der Pfad nicht selten an steilen Abgründen vorüberführt, beherrscht das Maultier den Saumverkehr, mit dem das

Pferd nur dort in Wettbewerb tritt, wo der Pfad sicherer und breiter wird. Der bereits mit ziemlicher Schnelligkeit abgewickelte Schlittenverkehr, in den polaren Tundren Sommer und Winter, in weiten Teilen Rußlands und wo er im Hochgebirge zur Verwendung gelangt, bloß im Winter heimisch, kennt den Hund (Nordamerika), das Renntier (Nordasien) und das Pferd (in Rußland) als Zugtier; ein bestimmter Weg spielt hier meist eine geringere Rolle, die Fahrbahn ist weitflächig. Auch der Wagenverkehr bedarf unter gewissen Voraussetzungen (trockener Boden, kleinere Steigungen) keiner Kunststraße als Weges; der oft von zahlreichen Ochsen gezogene Wagen Südafrikas und Argentiniens, der mit Ochsen oder Büffeln bespannte zweirädrige Karren Südindiens, aber auch Südeuropas bezeugen es. Der eigentliche Straßenverkehr dagegen benötigt die menschliche Arbeit am Wege, um seine Richtung, Brauchbarkeit, Dauerhaftigkeit und Tragfähigkeit nach Bedürfnis herzustellen und zu erhalten; die Festigkeit eines Straßenkörpers, Milderung natürlicher großer Steigungen, Überbrückungen von Flüssen und Schluchten erheben hier so große Forderungen, daß es nicht wundernimmt, wenn nach so hervorragenden Leistungen der römischen Kaiserzeit und des alten China erst die Neuzeit, ja eigentlich erst das technische neunzehnte Jahrhundert diesen Verkehrstypus zu weiter Verbreitung und einer außerordentlichen, aber noch immer nach Güte und Bauart des Weges verschiedenen Höhe gebracht hat. Als Maßstab kann das nicht undichte, kunstvolle Straßennetz unserer Alpen gelten. Der von Tieren gezogene und durch motorische Kraft getriebene Wagen, aber auch Fahr- und Motorrad sind in gleicher Weise die Verkehrsmittel des Straßenverkehrs. Die Kraftwagen in steigendem Maße; ihre Anzahl, für 1922 auf 12,6 Millionen Stück geschätzt, wird für Ende 1927 bereits mit 29,3 Millionen angegeben und wächst ungemein schnell weiter. An der Spitze stehen die Vereinigten Staaten von Amerika mit 21,1 Millionen Stück, es folgen Großbritannien mit 1054000, Frankreich mit 976000, Kanada mit 954000, Deutschland mit 380000; in den Vereinigten Staaten von Amerika kommt 1 Kraftwagen auf 4—5, in Deutschland dagegen auf 160 Menschen. Die feste Fahrbahn entfällt beim Flugverkehr; Luftschiff und Flugzeug befördern Menschen, Briefe und wertvolle Güter, ersteres bei weit größerer Tragkraft als dieses, beide aber in ungleich schnellerer Weise (120—200 km in der Stunde) als alle übrigen Verkehrsmittel und meist wirklich auf der kürzesten Verbindungslinie. Freilich ist der Flugverkehr noch sehr kostspielig (und darum vielfach auf staatliche Unterstützung angewiesen). Aber er wird vor allem sicherlich jene Gebiete allmählich erobern, in denen wie in Wüste, Urwald und in Gebirgen zumal menschenarmer Erdräume die Anlage anderer Schnellverkehrsmittel auf noch weit größere Hindernisse stoßen würde. So ergänzt z. B. der Luftverkehr in Australien heute bereits die Eisenbahnwege, in dem im Westen Perth mit Derby, im Osten Charleville mit Normanton and Camooweat verbunden ist. Auch wurde der Atlantische Ozean in 8150 km Breite vom 12. bis 15. Oktober 1924 zum erstenmal durch einen Zeppelin in 81 Stunden 17 Minuten überflogen und schon im Frühjahre desselben Jahres war der Nordpazifik von drei amerikanischen Flugzeugen überwunden worden. Die Vereinigten Staaten von Amerika werden von einer Luftverkehrslinie New York, Detroit, Chicago, Omaha, Cheyenne, Salzseestadt, San Franzisko überquert und auch in Südamerika wie in Asien: Russisch Zentralasien, Hinterindien, Vorder-

asien (Bagdad über Kairo bis Alexandria) und in Nordwestafrika (Algier—Biskra, Oran—Fes—Tanger) wie in Neuseeland gibt es regelmäßigen Flugverkehr. In Europa beförderte der deutsche Flugverkehr 1927 auf 5000 km 103000 Personen und 3153 Tonnen Fracht und Post, wobei er im ganzen 9970000 Flugkilometer zurücklegte; der englische Luftverkehr erzielte im Betriebsjahre 1924 1425000 Flugkilometer und beförderte 20700 Personen und 508 Tonnen Fracht und Post, der französische Luftverkehr beförderte 1925 19800 Personen und 1890 t Fracht und Post, wobei er 4713000 Flugkilometer, also rund die Hälfte des deutschen Flugverkehrs 1927, zurücklegte. Eine Hauptrolle in der Organisation zumal des europäischen Luftverkehrs spielen die deutschen Junkerswerke in Dessau. So wurde auch die Linie London—Moskau von ihr gemeinsam mit der englischen „Imperial Airways" durchgeführt. England plant drei große Luftschiff-linien. Erstens einen regelmäßigen Verkehr über den Atlantischen Ozean nach Kanada; es handelt sich um einen Weg von 4000—4500 km, der (Westwinde!) im Winter auf der Hinfahrt in 70, auf der Rückfahrt in 28 Stunden, im Sommer in 50 bzw. 32 Stunden zurückgelegt werden soll. Eine weitere Linie betrifft einen zweimal wöchentlich abzuwickelnden Verkehr von England über Ismaila (am Suezkanal) nach Karatschi an der Nordwestküste Vorderindiens und von hier nach Singapur (vielleicht mit der Fortsetzung bis Tokio) und nach Sydney; die Strecke London—Vorderindien wird auf vier, jene von hier bis Australien auf sechs Tage Fahrzeit geschätzt. Die dritte Linie, die im Gegensatz zur zweiten auf günstige Witterungsverhältnisse rechnen könnte, ist von England über Westafrika nach Kapstadt gedacht und soll in 3—4 Tagen bewältigt werden. Aber auch neue gewaltige Flugzeugwege will England in der nächsten Zeit schaffen; ein solcher wird die Linie London—Berlin—Konstantinopel—Angora—Aleppo—Bagdad—Südpersien—Karatschi—Kalkutta sein; es besteht bereits die Linie Aleppo—Karatschi, ebenso eine Abzweigung von Aleppo nach Kairo. Aber auch die Verwirklichung anderer großer Luftverkehrswege ist ins Auge gefaßt, Frankreich und Italien sind an ihnen ebenfalls beteiligt.

Eine ähnliche naturgegebene glatte und meist auch breite Fahrbahn wie Schnee und Luft bietet nur noch das Wasser; es ist weiter verbreitet als der Schnee, es befördert billiger als die Luft. Auf Flüssen, Seen und Kanälen des Festlandes vollzieht sich die Binnenschiffahrt, auf dem Meere und den interozeanischen Kanälen die Seeschiffahrt. Der zum Kanu ausgehöhlte Baumstamm und das Floß, beide vom Menschen vorwärtsbewegt, Segel-, Rotor- und Dampfschiff, das Motorboot und -schiff sind die Verkehrsmittel, die Tragkraft, abhängig von Fahrzeuggröße und Wassertiefe, ist bedeutend, die Schnelligkeit verschieden, aber nicht gering. Die Binnenschiffahrt ist gegenüber der Seeschiffahrt einmal an die bestimmten Richtungen von Flüssen und Kanälen gebunden, sie erleidet ferner flußaufwärts in der sog. Bergfahrt einen empfindlichen Widerstand. Sie ist ohne künstliche Eingriffe nur im geringen und regelmäßigen Gefälle des Flachlandes, bei genügender und nicht allzu schwankender Wassertiefe, ferner dort möglich, wo nicht Stromhindernisse (Schnellen, Wasserfälle) eingeschaltet sind, oder Eisbedeckung nicht die Befahrung ausschließt. Andere Umstände begünstigen oder benachteiligen die Intensität des Flußverkehrs; stark gekrümmter oder geradliniger Verlauf der Flußlinie, wirtschaft-

liche Entwicklung der Uferländer, die besonders in der Zollgestaltung sich spiegelnden politischen Verhältnisse der Anliegerstaaten, Art und Lage der Mündung gehören hierher. Die Wichtigkeit der Binnenschiffahrt zumal für den Lastentransport hat schon in den ältesten Zeiten und auch später, vor allem wo Weg- und Straßenbau schwierig sind, zu ihrer weitgehenden Ausnützung gedrängt; man hat sich von Stromhindernissen oder flachen Wasserscheiden durch das Tragen der kleineren Fahrzeuge über Land unabhängig gemacht, wie man sie heute durch Kanäle oder Eisenbahnen umgeht, man ist auch bald an die künstliche Entfernung der störenden Momente durch Uferregulierung, Durchstichen, Ausbaggerung, Beseitigung von Felsbänken und zum Bau von Kanälen geschritten, die entweder als Scheitelkanäle über eine Wasserscheide führen, als Mündungskanäle einem Fluß einen zweiten Ausgang zum Meere schaffen oder als Seitenkanäle längs der nicht schiffbaren Strecken eines Flusses ziehen. Ägypten, Babylonien, China haben schon früh, später Holland, Frankreich, Deutschland und England, aber auch Nordamerika ganze Kanalsysteme angelegt, die freilich vielfach entweder verfallen oder infolge ihrer geringen Maße (Breite und Tiefe) für den modernen Verkehr relativ unbrauchbar geworden sind, nicht selten aber verbessert ihren Wert auch neben den Eisenbahnen sehr gut zu erhalten vermochten, wo billige und schwere Massengüter wie Getreide, Holz, Erze, Kohle, Petroleum und Baustoffe eine langsame Beförderung vertragen. Jedenfalls gibt es auch heute noch mindestens vier gewaltige Erdräume, in denen der Wasserverkehr das Charakteristische ist: das tropische Südamerika (Amazonas), Nordamerika, Mittelafrika (Kongo) und Südchina. Wir wollen aber nicht bloß diese Gebiete besprechen, sondern bei der Bedeutsamkeit des Gegenstandes überhaupt eine Übersicht der größeren Binnenschiffahrtswege der Erde folgen lassen. Nur muß festgehalten werden, daß sich die Trennung zwischen Wegen, die mehr lokal und solchen, die für den Weltverkehr Bedeutung haben, nicht überall scharf durchführen läßt. Wir beginnen mit dem hinsichtlich seines Binnenschiffahrtsnetzes verhältnismäßig gut ausgestatteten Europa. Zwei Momente fallen hier auf. Einmal, daß gegenüber dem südeuropäischen das atlantisch-westeuropäische (dem auch Deutschland zugehört) und das osteuropäische Wasserstraßennetz (Schwarzes Meer, Kaspisee, Eismeer) die weitaus entwickelteren sind, zum anderen, daß vorläufig eine Verbindung zwischen beiden durch Kanäle zwar geplant ist, aber noch fehlt; weder ist der Rhein mit der Elbe, noch sind Rhein, Elbe, Oder und Weichsel mit der Donau bisher durch einen leistungsfähigen Großschiffahrtskanal in Beziehung gesetzt (der Ludwigskanal von Kelheim an der Donau über Altmühl und Regnitz nach Bamberg am Main entspricht modernen Anforderungen nicht im geringsten), trotzdem die Fortführung des im Anschluß an den Rhein-Herne- und Dortmund-Emskanal zunächst bis Hannover gehenden Mittellandkanales zur Elbe hin bereits beschlossen ist und für die übrigen Kanäle eine große Menge von Projekten vorliegt. Nach Vollendung des Mittellandkanales wird eine zusammenhängende Fahrrinne von Frankreich bis tief nach Osten hin vorhanden sein; vielleicht wäre aber auch die andere Wasserstraßenlücke zwischen Nordsee und Schwarzem Meer längst geschlossen, zeigte das osteuropäische Netz neben den Vorteilen der Größe und des geringen Gefälles seiner oft bis zur Quelle befahrbaren und untereinander leicht durch Kanäle in Zusammenhang gebrachten Flüsse nicht die entschiedenen Nachteile einer nordostwärts immer längeren (bis

Die Verkehrsbelastung wichtiger Wasserstraßen.

Wichtige Wasserstraßen	Befahrene Länge in km im Jahre 1927	Gütermengen in 1000 t		Millionen tkm		Verkehr in 1000 t je km	
		1926	1927	1926	1927	1926	1927
Rhein	696	69721	76500	11450	13587	16451	19522
Main	450	3771	5080	244	320	542	712
Weser	448	2635	3204	383	461	855	1030
Elbe	727	11448	12215	3439	3479	4731	4785
Havel-Wasserstraße .	328	6569	6682	662	673	2020	2052
Oder	692	7036	7098	2292	2224	3312	3214
Rhein-Herne-Kanal	38	12253	13987	287	331	7548	8705
Dortmund-Ems-Kanal	281	7930	8741	1233	1275	4388	4537
Ems-Weser-Kanal .	172	2561	2967	312	351	1813	2042
Spree-Oder-Wasserstraße	133	8818	9363	410	442	3080	3323
Zusammen	3965	.	.	20712	23143	5224	5837
Alle Wasserstraßen.	10668	102132	111235	21440	23971	1979	2247

zu 6—7 Monate dauernden) winterlichen Vereisungsperiode (gelegentlich auch sommerlicher Tiefwasserstände) und der Mündung seiner Hauptflüsse in Neben- oder Binnenmeere; auch die dünne Besiedlung weiter Ufergebiete hemmt eine

Gesamtverkehr (Ein- u. Ausladungen) der deutschen Stromgebiete in den Jahren 1913, 1921, 1924 und 1925.

Stromgebiete	Gesamtverkehr						
	1913[1])		1921	1924	1925		
	1000 t	Proz.	1000 t	1000 t	1000 t	Proz.	davon Ausland 1000 t
Ostpreußische Wasserstraßen	5047	*3,2*	801	1291	1576	*1,2*	375
Odergebiet	14866	*9,5*	3091	7251	9393	*7,4*	115
Märkische Wasserstraßen .	15722	*10,1*	5369	8801	11205	*8,9*	103
Elbgebiet	25506	*16,3*	7268	12542	14712	*11,6*	1607
Ems-Weser-Gebiet . . .	10650	*6,8*	12675	17411	21120	*16,7*	3835
Rheingebiet	83914	*53,7*	35788	57048	68022	*53,7*	36619
Donaugebiet	559	*0,4*	435	494	579	*0,5*	421
Insgesamt	156264	*100,0*	65427	104838	126607	*100,0*	43075

[1]) Altes Reichsgebiet.

volle Verkehrsentfaltung. Dabei ist das osteuropäische Wasserstraßennetz wenigstens an Länge nicht gering; es mag 43300 km schiffbare (dazu 50000 km flößbare) Wasserstraßen umfassen, was freilich bei der Ausdehnung Osteuropas nur 9 km auf 1000 qkm Fläche, also eine ganz geringe Dichte bedeutet (die Niederlande besitzen 152 km auf 1000 qkm). Aber bei dem mangelhaften Zustande seines Eisenbahnwesens spielen die Wasserstraßen Osteuropas eine doppelt wichtige Rolle. Wenngleich nur ein Teil seiner Kanäle heute noch leistungsfähig, ein anderer aber veraltet (sogar bloß flößbar) ist, verfrachten die osteuropäischen Wasserstraßen noch gewaltige Mengen von Holz, Getreide und Petroleum, voran die Wolga, die

etwa die Hälfte des Gesamtumsatzes besorgt. Von ihren 3960 km sind 3578 km schiffbar, 2200 sogar (bis Nishnij Nowgorod) für 2—3000 t-Fahrzeuge. Dagegen ist die Donau, obgleich von Ulm ab für größere Kähne, von Regensburg für Dampfer (im ganzen auf 2600 km) schiffbar, doch ein verkehrsarmer Strom; außer den vorhin erwähnten allgemeinen Punkten haben dazu auch manche besondere Momente beigetragen, so historische Schicksale, in den physischen Verhältnissen ihres Laufes begründete Umstände, auch die verhältnismäßige Höhe der Abgabenbelastung an der Donauenge des „Eisernen Tores" schon vor dem Kriege; und die seit dem Frieden durchgeführte Internationalisierung des Stromes hat zunächst noch wenig geändert. Von ganz anderer Bedeutung ist das atlantisch-westeuropäische Netz, nicht zuletzt durch die Höhe der wirtschaftlichen Entwicklung der von ihm durchzogenen Länder. Hier hat einer seiner Ströme, der Rhein, zweifellos sogar weltwirtschaftliche Bedeutung, er ist auch für Deutschland, obgleich seine Mündung auf staatsfremdem Boden liegt, die wichtigste Wasserstraße. Die deutschen Binnenwasserstraßen leiden weniger unter winterlicher Eisbedeckung als die osteuropäischen; der Mittelrhein ist nur für 18 Tage, die Mittelelbe für 45 Tage durchschnittlich gesperrt, die Wasserstandsschwankungen halten sich in erträglichen Grenzen (der Rhein weist geringere auf als die Elbe) und die Gefällsverhältnisse bereiten nirgends erheblichere Schwierigkeiten. Die Länge der schiffbaren deutschen Wasserstrecken wird (amtlich) für 1927 mit 12151 km angegeben, darunter sind 9965 km Flüsse und Seen und 2186 km Kanäle. Der Gesamtverkehr auf den deutschen Stromgebieten bewegte 1913 (im alten Reichsgebiet) 156,3 Millionen Tonnen, 1923 (im neuen Reichsgebiet) nur 52,7 Millionen, 1925 bereits wieder 126,6 Millionen Tonnen; der Anteil der einzelnen Stromgebiete am Gesamtverkehr zeigt zwischen 1913 und 1925 mancherlei lehrreiche Verschiebungen, für die in der Tabelle die Zahlen genannt sind (vgl. auch Abb. 10). Der Güterverkehr auf deutschen Binnenwasserstraßen, rund ein Viertel des gesamten deutschen Güterverkehrs, betrug 1922 58,8, 1923 34,3, 1925 85,7, 1926 102,4, 1927 111,4 Millionen Tonnen; Kohlen, Erze, Erden aller Art und Getreide werden hauptsächlich verfrachtet. Als Hafen stand Duisburg 1924 mit 18,3, 1927 mit 27,1 Millionen Tonnen weit voran, es folgte Mannheim-Ludwigshafen 1924 mit 8,6, 1927 mit 10,7 Millionen Tonnen. Neben dem Rhein sind Elbe und Oder für Deutschland am wichtigsten, die Hauptrichtung seines Wasserstraßenverkehrs weist zweifellos zur Nordsee. Der Rhein ist bis Basel schiffbar, bis Köln können auch kleinere Seeschiffe gelangen, bis Mannheim 2000-t-Schiffe. Die Elbe, bis zur Moldaumündung auf 800 km schiffbar und zu Deutschlands größtem Hafen führend, ist über die Spree mit der bis nach Oberschlesien schiffbar gemachten Oder verbunden, und seit 1913 besteht überdies der auch 600-t-Schiffe zulassende Berlin—Stettiner Großschiffahrtsweg. Durch die im Versailler Diktat ausgesprochene Internationalisierung aller großen deutschen Ströme (von der Weser abgesehen) hat Deutschland nicht bloß eine Minderung seiner Hoheitsrechte, sondern auch wirtschaftliche Nachteile erfahren, sowohl durch den Entgang von Einnahmen, als vor allem durch die mangelhafte Pflege der Wasserstraßen von seiten der internationalen Kommissionen. Die Niederlande haben das dichteste Wasserstraßennetz; 4800 km, zu fast zwei Drittel künstliche

und trefflich eingerichtete Wasserstraßen stehen nur 3645 km Eisenbahnlinien gegenüber. Amsterdam ist (seit 1876) durch den 33 km langen und $8^1/_2$ m tiefen Nordseekanal dicht mit dem Meere verbunden. Auch Belgien erfreut sich geschickt geführter und brauchbarer Wasserstraßen; von Brügge führt ein 14 km langer und 8 m tiefer Seekanal zum Meere. Unter Frankreichs 11400 km schiffbaren Wasserstraßen (21 auf 1000 qkm) haben Rhone, Garonne, Seine und Loire die größte Bedeutung, sein einst allerdings vorzüglich ausgebautes Kanalsystem genügt heute in seinen Abmessungen kaum mehr; doch bestehen große Zukunftspläne hinsichtlich einer Großschiffahrtsverbindung Straßburgs mit Rhone und Marne. Für England hat der Wasserstraßenverkehr geringere Wichtigkeit, liegt doch keine einzige seiner Industriestädte mehr als 130 km von einem Fluthafen entfernt. So hat man auch größtenteils einen Ausbau seiner Kanäle unterlassen; eine Ausnahme bildet der neue (seit 1894 bestehende) 57 km lange Kanal zwischen Manchester und der Merseymündung; er umgeht Liverpool und besitzt 8—9 m Tiefe. — Wir wenden uns Asien zu, das eine größere Reihe längerer, doch überwiegend nur an die Grenzen Innerasiens heranreichender Flüsse sein eigen nennt; auch hemmen vielfach physische Hindernisse wie große Wasserstandsschwankungen, Sandbänke und Stromschnellen, Barren an den Ausgängen in Nordasien, gelegentlich halbjährliche Eisbedeckung eine weitergehende Verkehrsausnützung, die auch durch die Mündung einzelner Ströme ins Eismeer oder in Binnenseen stark beeinträchtigt wird. Von der Bedeutung des Wasserverkehrs trotz alledem für Südchina war schon die Rede. Der bereits im dreizehnten Jahrhundert angelegte Kaiserkanal (seine Größe wird mit 1100—1400 km angegeben) verbindet Peking für Getreide- und Reiszufuhren mit dem auch für den Weltverkehr bedeutsamen Jangtsekiang, auf dem im Sommer Seeschiffe bis Hankau gelangen können. Unter den sibirischen Strömen ist der westlichste, der Ob (mit dem Irtysch, Ischim und Tobol) immerhin der verkehrsreichste; er ist auch an den viel weniger befahrenen Jenissei durch einen, allerdings kleinen Kanal angeschlossen; $5^1/_2$ Monate lang verfrachtet auch der Amur Tee, Holz und Mehl. Aber aus den früher genannten Gründen werden die sibirischen Ströme nie eine ihrer Länge entsprechende, sie in den Weltverkehr einbeziehende Entfaltung finden; ihre Hauptfunktion vollzieht sich in westöstlicher Richtung und im Verein mit der großen transsibirischen Eisenbahn, zu der sie heimische Erzeugnisse bringen, um von ihr europäische Waren zu empfangen. Für Südasien ist in Hinterindien der 677 km weit (bis Homalin) von Dampfern befahrene Irâwadi die wichtigste Wasserstraße, in Vorderindien sind weniger die unter mehrfachen Hemmungen leidenden Flüsse als einzelne Kanäle verkehrswichtig. Im ansonsten wasserstraßenarmen Vorderasien sieht bloß der Tigris von Bagdad abwärts einen, während eines Drittels des Jahres infolge niedrigen Wasserstandes nicht ohne Schwierigkeiten durchgeführten Dampferverkehr (bis Basra, wo der Seeverkehr beginnt). Auch Afrika besitzt, wie wir wissen, im Kongobecken ein ausgesprochenes Wasserverkehrsgebiet; der Kongo und viele seiner Nebenflüsse (davon der Kassai und Sankuru zu je 1500 km) bilden hier rund 18000, nach anderen sogar 25000 km für Dampfer, davon auf 5000 km für Schiffe über 500 t befahrbare Wasserstraßen. Die Kongoschiffahrt selbst erfolgt in vier Abschnitten; das 135 km lange Stück der Mündung bis Matadi ist Seeschiffen bis 8000 t zugänglich, eine

399 km lange Umgehungsbahn führt an der dortigen Kataraktenstrecke vorbei bis Leopoldville am Stanley Pool, von hier sind bis Stanleyville nicht weniger als 1590 (1725) km für Schiffe bis 500 t benützbar; auf einer 127 km langen Umgehungsbahn gelangt man zum dritten schiffbaren Laufstück, das von Ponthierville bis Kindu (Kasongo) 320 km umfaßt; nach einer weiteren Unterbrechung erreicht die oberste Schiffahrtsstrecke 680 km von Kongola bis Kalangwe. Geringer, wenn auch noch immer für den Welthandel bedeutsam, ist die Wichtigkeit von Nil und Niger, die beide auch in Katarakten und Stromschnellen große Hindernisse aufweisen; lebhafteren Verkehr hat auf dem Nil bloß das Mündungsgebiet zwischen Kairo und Alexandria wie die Strecke Assuan bis Wadi Halfa, auf dem Niger, der von französischen Kanonenbooten fast bis zur Quelle befahren wird, der auch Dampfern zugängliche Teil Timbuktu bis Kulikoro und Djebba bis zur Mündung; auch der Nigernebenfluß Benuë ist schiffbar. Die großen Seen Afrikas (Viktoria, Tanganjika, Nyassa) werden von zahlreichen Dampfern belebt. Während Australien teils infolge langdauernder Wasserarmut, teils infolge der Kürze seiner Flüsse nur einen sehr geringen Wasserverkehr zu unterhalten imstande ist, haben wir in Nordamerika wieder ein gewaltiges Wasserstraßenverkehrsgebiet vor uns. Nicht bloß ein natürliches, das (wie übrigens auch in Südamerika) schon vor der europäischen Kolonisation den Eingeborenen gestattete, Mackenzie, Mississippi, Hudson und Sankt Lorenzstrom untereinander zu benutzen, indem das Boot über niedrige Wasserscheiden getragen oder gezogen wurde — ein Weg übrigens, auf dem selbst heute dem Welthandel noch einige Güter zugeführt werden. Sondern vor allem ein durch Kunstbauten (Stromregulierungen, Kanäle) verbessertes Wasserstraßennetz, das nunmehr im Dienste des modernen Großverkehres steht. Das kanadische Kanalsystem stellt 1500-t-Seeschiffen einen Wasserweg von $4^1/_2$ m Tiefe bis Chicago am Südende des Michigan-Sees zur Verfügung und von den 6000 km Kanälen, die Nordamerika rund besitzt, können 4200 km durch Schiffe bis 3 m Tiefgang befahren werden; bis Montreal können Seeschiffe von 9 m Tiefgang gelangen. Gerade das Grenzgebiet zwischen Kanada und den Vereinigten Staaten von Amerika verfügt in seinen Wäldern, Kohlen und Erzen, aber auch in seinen Landbauerzeugnissen über wichtige Massengüter in außerordentlichen Mengen. Der St. Lorenzstrom ist mit den Großen kanadischen Seen, auf denen Kanada bereits 1913 eine Flotte von 240000, die Union eine solche von 2380000 Registertonnen (1 RT. = 2,83 cbm) schwimmen hatte, doch auch mit dem Hudson wie mit dem Mississippisystem durch Kanäle verbunden. Der Wert dieses großartigen Netzes wird heute fast nur noch dadurch beeinträchtigt, daß es im Gebiete der Großen Seen 4 bis 5 Monate eisblockiert ist — ein Umstand, der übrigens auch auf dem Yukon (für 2700 km) und dem Mackenzie (für 1800 km) nur im Sommer einen Dampferverkehr erlaubt. Der Sault St. Marys-Kanal zwischen Oberer und Huron-See bewältigte 1920 einen Verkehr von 79,3 Millionen, 1923 sogar von 91,4 Millionen Nettotonnen und 68451 Reisenden, 1927 wieder nur von 83,4 Mill. Nettotonnen, während 1920 den Suezkanal nur 17,6, 1929 28,96, den Panamakanal 1920 10,4, 1927 29,5 Millionen Nettotonnen passierten. Den die Niagarafälle umgehenden, bloß für 1500-t-Schiffe geeigneten (alten) Welland-Schiffskanal durchzogen 1918 2,2 Millionen Tonnen Ladung, der 1914 begonnene neue Welland-Schiffskanal vermag bei 8 m Tiefe 16000-t-Schiffe zu

befördern. Seit 1918 ist an die Stelle des die Verbindung zwischen Eriesee und Hudson herstellenden unzureichenden Eriekanals der 3 m tiefe und für 3000-t-Schiffe berechnete New York-State-Barge-Kanal getreten; er wies 1923 einen Verkehr von über 2, 1927 von 2,6 Millionen Tonnen auf. Der als die vielleicht verkehrsreichste Wasserstraße Nordamerikas anzusprechende Hudson, bis New Baltimore für 6 m, bis Troy, wo, 242 km von der Mündung, noch die Gezeiten sich geltend machen, für 3,6 m tiefgehende Schiffe befahrbar, ist durch den Champlainkanal auch unmittelbar an den St. Lorenzstrom angeschlossen. Ins Stromgebiet des Mississippi aber führen aus dem Seengebiet bei Chicago der 6,6 m tiefe Chicago Sanitary and Ship-Kanal und (zum Ohio bei Portsmouth) von Cleveland am Eriesee aus der 3,7 m tiefe Ohio-Erie-Kanal. Das Mississippisystem selbst (also der Mississippi hauptsächlich mit Ohio, Tennessee und Illinois) hat dagegen, trotzdem es mehr als die Hälfte des schiffbaren vereinsstaatlichen Wasserstraßen umfaßt (22000 von 42500 km) und der Mississippi von St. Paul bis zum Südende des „Südpasses" einen Großschiffahrtsweg von 2,3 m Tiefe bietet (im Südwestpaß jüngst auf $10^1/_2$ m und bis New Orleans auf 9 m Tiefe gebracht), weder einen dem eben besprochenen nordöstlichen Wasserstraßennetz auch nur entfernt ähnlich gewaltige noch auch nur eine der wirtschaftlichen Entwicklung seiner Nachbarschaft entsprechende Verkehrshöhe. Wohl deshalb, weil einmal die physische Beschaffenheit mancher Strecken (Stromverwilderung!) trotz des ständigen Stromüberwachungsdienstes und großer Regulierungsarbeiten nicht einwandfrei ist, vor allem aber, weil seine Laufrichtung zur westöstlichen, durch die Eisenbahnen markierten Hauptverkehrsachse des Landes fast senkrecht steht, der Mississippi auch in ein Nebenmeer mündet (Donau!). Freilich bringen ihn gerade diese beiden Umstände jetzt in die Nähe des Panamakanales, von dem sich auch eine Befruchtung des Mississippiverkehrs erwarten läßt. — Wird bloß die Ausdehnung ins Auge gefaßt, so übertrifft das Wasserstraßennetz Südamerikas sogar das von Nordamerika, an Verkehrsstärke kann es sich auch nicht entfernt mit ihm messen. Das größte zusammenhängende ist im Amazonas und seinen Nebenflüssen gegeben; vielfach sind es die einzigen, freilich durch Wasserfälle und Stromschnellen nicht selten unterbrochene und begrenzte Zugangswege für weite, sonst abgeschiedene Urwaldsräume. Bis Manáos am Amazonas unfern der Madeiramündung, das ist rund 2000 km vom Ozean, können mittlere, bis zu dem 4150 km von der Amazonasmündung entfernten Iquitos (Peru) kleinere Ozeandampfer fahren. Auch der Amazonasnebenfluß Madeira ist, von einer durch eine 360 km lange Umgehungsbahn erschlossenen Strecke abgesehen, weithin schiffbar, nicht minder sind es andere Amazonasnebenflüsse; besitzt doch Brasilien ein durchaus von Flüssen gebildetes Wasserstraßennetz von 65000 km, auf dem 1922 außer zahlreichen fremden 298 brasilianische Fahrzeuge mit 50000 Nettotonnen verkehrten. Auch andere Flüsse Südamerikas werden durch Stromschnellen entwertet; so ist der zwischen Pernambuco und Bahia mündende São Francisco nur in drei, der das westliche Kolumbien durchziehende Magdalenenstrom nur in zwei Teilstrecken benutzbar, auch ist die Einfahrt in beide Flüsse durch eine Barre erschwert. Größere Wichtigkeit, und wenn auch geringere als der Amazonas, so doch Weltverkehrsbedeutung besitzt das Wasserstraßennetz des La Plata (mit dem Paraná Paraguay und Uruguay; bis Santa Fé gelangen noch Schiffe von 7000 t, bis zur

Hauptstadt von Paraguay Asunción große, bis zu dem 3000 km vom Meere entfernten Columba noch kleine Schiffe.

Der Eisenbahnverkehr ist derzeit rund 100 Jahre alt; 1830 wurden die Linie Liverpool—Manchester und die Baltimore—Ohio- wie die Südkarolina-Bahn eröffnet, 1835 folgte die kleine Strecke Nürnberg—Fürth, 1838 die Strecke Leipzig—Dresden. Leicht sind die wichtigsten Züge des Eisenbahnverkehrs auch gegenüber den bisher besprochenen Verkehrsmitteln aufgezeigt. Er ist vor allem auf einen sicheren und leistungsfähigen Schnellverkehr eingestellt, der ihn, zumal für die normale mengengroße Personen- und Postbeförderung, für die Güterbeförderung im Nahverkehr oder im Fernverkehr (auch beim Wettbewerb von Wasserstraßen) wenigstens für die Verfrachtung wertvoller Waren bevorzugt sein läßt; Personenzüge haben eine Geschwindigkeit von 30 bis 40 km in der Stunde, Güterzüge von 45 km, Schnellzüge von 60 bis 100 km und darüber (in Rußland und Spanien fahren Schnellzüge bloß in unserem Personenzugstempo). Sodann bedarf der Eisenbahnverkehr zwar des besonderen Weges (Spurbahn), er ist aber bei vorgeschrittener Technik als künstlicher Weg weit unabhängiger in der Richtung als der künstliche Wasserweg, der selbst erst im Zusammenhange mit vorhandenen Flüssen und Seen Geltung gewinnt. Diese relative Freiheit in der Anlage erklärt die innige Beziehung zur Wirtschaftsentwicklung der von Schienenwegen durchzogenen Länder; in Staaten hoher Kultur wird das Netz eng gezogen, um alle wirtschaftlichen Mittelpunkte zu verbinden, in Kolonialgebieten schaffen Schienenwege meist erst die Möglichkeit zu Besiedlung und Wirtschaftsnutzung. Großbritannien hat (1922) bei 39260 km Schienenlänge eine mittlere Maschenweite von 16,4 km, Deutschland bei 57460 km eine solche von 16,2, Belgien aber bei 39260 km sogar nur 6,4 km mittlere Maschenweite, es hat das dichteste Bahnnetz in Europa, wogegen Sowjetrußland mit 129 km mittlerer Maschenweite das dünnste besitzt. Nordamerika ist in vielen Teilen erst allmählich längs seiner Bahnen bewohnbar und wirtschaftsfähig geworden; nicht zuletzt unter den einschlägigen Erwägungen wurden die großen Pazifik- (Transkontinental-) Bahnen schnell hintereinander von Ozean zu Ozean gebaut, deren erste bereits 1869 die 5260 km lange Verbindung von New York über Chicago, Omaha und Ogden am Großen Salzsee mit San Franzisko herstellte. Und von ähnlicher Bedeutung (die militärischen Gesichtspunkte für die Errichtung können hier außer acht bleiben) ist für Südsibirien und seine Wald- und Bodenschätze wie seine weiten landwirtschaftlichen Flächen die 1903 vollendete transsibirische Bahn, die von Tschjeljabinsk über Omsk und Irkutsk einerseits nach Wladiwostok (6550 km), anderseits nach Dalny am Gelben Meer und in einem Zweige durch Korea über Söul nach Fusan an der Koreaküste führt. Für nicht wenige Teile der Erde steht aber eine derartige Aufschließung noch aus. Technische Schwierigkeiten spielen für die Bahnführung eine geringere Rolle, als man von vornherein erwarten würde. Man hat gewaltige Schluchten und Flüsse überbrückt und Steigungen nicht gescheut: die (bisher einzige ganz Südamerika seit 1910 in westöstlicher Richtung durchquerende) transandine Bahn Buenos Aires—Valparaiso überwindet die Anden in 3190 m (Doppeltunnel), die Oroyabahn in Peru erreicht 4834, die Bolivische Zentralbahn sogar 4880 m, während unsere Alpenbahnen sich mit weit geringeren Höhen begnügen können (von eigentlichen Bergbahnen auf Aussichtspunkte ist hier natürlich abgesehen): der Tunnel der Arlberg-

bahn liegt in 1310 m Höhe, jener der Mont Cenisbahn in 1296 m, der St. Gotthardbahn in 1154 m Höhe. Die Gesamtlänge der im Betrieb befindlichen Eisenbahnen wird für 1925 mit 1230234 km angegeben, das ist mit einer Länge, die fast dreißigmal so groß ist als der Umfang des Erdäquators; auf Amerika entfallen 601136 km (auf Nordamerika allein 496323 km), auf Europa 384420, auf Asien 135590, auf Afrika 60631, auf Australien 48457 km. Diese Zahlen werden anschaulicher, wenn wir erwähnen, daß sie sich hauptsächlich auf sechs geschlossene, freilich gelegentlich durch verschiedene Spurweite gestörte Netze verteilen; Europa (mit der gewaltigen Ausstrahlung nach Asien hinein einerseits bis ans Japanische und Gelbe Meer, anderseits nach Turkestan), Nordamerika (bis zur Südgrenze Mexikos), das südliche Südamerika, Britisch-Indien, Südafrika und Ostaustralien; die beiden ersten sind Großnetze, die übrigen (in weitem Abstande von ihnen und noch nicht einmal durchweg in sich zusammenhängend) Kleinnetze. Auch hier wird sich, wie bei der Binnenschiffahrt, eine eingehendere Betrachtung der wichtigsten Linien, nach Erdteilen geordnet, empfehlen. Europas Bahnnetz ist ungefähr ebenso dicht wie jenes von Nordamerika (3,6 gegenüber 3,9 km auf 100 qkm), und am dichtesten nicht etwa, wo das Gelände die besten Verhältnisse bietet, sondern wo Kultur und Wirtschaft am entwickeltsten sind: in Großbritannien, das auf 100 qkm Fläche (1925) 16,1 km Bahnlänge besitzt und in Mitteleuropa (einschließlich Frankreichs), wo auf 100 qkm 10,5 km Schienenlänge kommen (im Freistaate Sachsen sogar 18,1 km). Deutschlands Eisenbahnnetz ist mit 56002 km (1926) länger als das Frankreichs (53561 km) und Rußlands (57516 km). Einen besonderen Vorzug des europäischen Bahnnetzes bildet auch der Umstand, daß es im größten Teil (trotz verschiedener Spurweite der spanischen und russischen Bahnen gegenüber den anderen) in sich verbunden ist, indem Nordeuropa durch Trajektlinien (Eisenbahnfähren): Trelleborg—Saßnitz, Gjedser—Warnemünde, Kopenhagen—Kiel an Mitteleuropa, aber auch — über Nordschweden und Finnland — an Osteuropa angeschlossen ist und jetzt auch, durch Einbeziehung Griechenlands, Südeuropa in ununterbrochenem Zusammenhange mit dem übrigen Europa steht. Dagegen dürfte der Plan, Großbritannien durch Untertunnellierung oder Überbrückung des „Kanales" dem Festland anzugliedern, kaum sobald verwirklicht werden. Das starke Verkehrsbedürfnis Europas hat den innigen Zusammenhang seiner Bahnen auch in zahlreichen internationalen (transkontinentalen, Überland) Expreßlinien ausdrücken lassen, die Berlin, Paris und Wien zu wichtigen Verkehrsknotenpunkten machen. Wir erwähnen die „Nordexpreß"-Linie der Vorkriegszeit: Paris—Berlin—Leningrad, die seither wohl nicht wieder völlig bestand und im Winter 1924/25 von Kowno an nach Riga statt nach Leningrad geführt wurde, ferner die auch heute befahrene, „Südexpreß" genannte Linie: Lissabon, Madrid, Bayonne, Bordeaux, Paris. Sie wurde vor dem Kriege über Brüssel, Köln, Hannover, Berlin, Thorn, Warschau, Minsk, Smolensk, Moskau und Samara zum Anschluß an die Transsibirische Bahn in Tscheljabinsk (siehe oben) geführt, die längste Schienenstrecke der Erde, eine zwei Erdteile verbindende Interkontinentallinie von 13500 km; die Fahrt Berlin bis Wladiwostok dauerte bei normalem Betrieb 12 bis 13 Tage — 1924/25 endete der zusammenhängende Strang bereits in Warschau. Ein weiterer Weltverkehrsweg ist der Peninsularexpreß London, Calais, Paris, Dijon entweder

über Lausanne, den Simplon, Mailand (als Simplonexpreß), Bologna und Ancona nach Brindisi oder (als Romexpreß) über Lyon, den Mont Cenis, Turin, Genua und Locarno nach Rom (mit der Fortsetzung über Neapel nach Brindisi). Als Orientexpreßlinie wird bezeichnet die Verbindung Paris, Straßburg, Stuttgart, Ulm, München, Salzburg (als Ostendeexpreß: Ostende, Brüssel, Aachen, Köln, Frankfurt a. M., Nürnberg, Passau), Linz, Wien, Budapest einerseits nach Kronstadt, Bukarest und Konstanza, anderseits nach Belgrad, Nisch, Sofia und Konstantinopel, ferner die von der Entente in der Nachkriegszeit zur Umgehung geschaffene Fortsetzung des Simplonexpreß (unter dem Namen Simplon-Orient-Expreß) über Mailand, Verona, Triest, Laibach, Agram entweder über Temesvar nach Bukarest und Konstanza, oder als Akropolisexpreß über Belgrad, Nisch, Üsküb, Saloniki nach Athen (Piräus) oder schließlich über Belgrad und Sofia nach Konstantinopel. Der Mittelmeerexpreß verbindet London über Paris, Lyon, Marseille und Nizza mit Ventimiglia, als Bombayexpreß findet er in Marseille den Anschluß an die Dampfer der Peninsular and Orient Line nach Indien. Der Edelweißexpreß führt von Antwerpen über Brüssel und Straßburg nach Basel, der Rheingoldexpreß von Hoek van Holland und Amsterdam über Köln, Karlsruhe und Basel nach Luzern, der Engadinexpreß von London über Paris, Basel und Chur nach St. Moritz, der Oberlandexpreß von London über Belfort, Biel und Bern nach Luzern. Der Loydexpreß wird von Hamburg über Bremen, Köln, Basel und den (jetzt elektrifizierten) St. Gotthard nach Genua geleitet, den Gotthard benutzt auch der Gotthard-Pullman-Expreß: (Berlin, Amsterdam, Brüssel, London, Paris) über Basel, Luzern, Bellinzona und Lugano nach Mailand. Berlin ist in Fortsetzung des Lapplandexpreß, der über Stralsund, Saßnitz, Trelleborg, Stockholm, Gelivara bis Narvik gesendet wird, mit Neapel durch den Nordsüdexpreß über Leipzig, Regensburg, München, Innsbruck, den Brenner, Verona, Bologna, Florenz und Rom, Paris ist mit Triest durch den Tauernexpreß über München und Salzburg verbunden. Von Paris geht auch der Arlbergexpreß durch die Schweiz (Basel, Zürich) über den Arlberg, Innsbruck nach Wien. Wien ist durch den Wien-Nizza- (oder Semmering-) Expreß über Klagenfurt, Villach, Verona, Mailand und Nizza mit Cannes verbunden. Deutschlands Mittellage bewirkt, daß nicht wenige dieser Weltverkehrslinien über seinen Boden ziehen und seine Grenzen von zahlreichen Schienenwegen überschritten werden. Im Weltverkehr seit dem Kriege freilich viel viel seltener als vorher (so hat sich ja Rußland ganz vom westlichen Europa losgelöst), und es wird lange dauern, bis sich der alte oder ein neuer normaler Zustand eingestellt hat. Darum kann es hier auch gar nicht unsere Aufgabe sein, alle Veränderungen anzuführen, welche die Nachkriegszeit geschaffen hat. Die Staaten, die alten nicht minder wie die erst entstandenen, haben sich ja zunächst seit 1918 vorwiegend gegeneinander abgesperrt, frühere Hauptstrecken sind zerschnitten worden; längs der Grenzen der neugebildeten Reiche sind verkehrsgeographisch seltsam anmutende Grenzbahnen als zusammenhängende Hauptlinien geführt worden wie die von Prag über Oderberg, Sillein, Kaschau und Großwardein nach Bukarest. Nicht selten wurden solche Linien wie jene in den sog. Nachfolgestaaten der österreichisch-ungarischen Monarchie bloß zur Umgehung eines anderen Staates oder seiner Hauptstadt eingerichtet. Eine andere wichtige Verschiebung wird sichtbar, wenn wir hören,

daß die Entfernung Berlin, Warschau, Moskau im Frieden in $29^1/_2$ Stunden zurückzulegen war, während diese Strecke 1924/25 nicht unter 60 bis 61 Stunden, und dies nur einmal in der Woche, zu durchfahren war; der tägliche Verkehr brauchte noch längere Zeit. Ziehen wir das Eisenbahnnetz Brit.-Indiens (im Jahre 1925 62074 km), das etwa die Hälfte des übrigen Asiens ausmacht, ab, so hat dies auf einer rund 100mal größeren Fläche nur wenig mehr als doppelt soviel Eisenbahnkilometer als Deutschland allein; und außer Britisch-Indien haben nur noch Japan, Ceylon und Java ein größeres Netz, während die übrigen Länder vielfach nur erst kleine, von den Hafenplätzen ausgehende Strecken ins Innere besitzen — die Wüstenhaftigkeit und Hochlandsnatur ausgedehnter Gebiete, die geringere Kultur- und Wirtschaftsentwicklung zahlreicher Völker sind in gleicher Weise Ursachen dafür. Britisch-Indien hat aus wirtschaftlichen und militärischen Gründen (besonders im nördlichen Tiefland) ein zwar weitmaschiges, aber doch relativ vielschieniges Eisenbahnnetz (von drei Spurweiten), das freilich vorläufig noch ohne jede Verbindung mit dem übrigen Asien ist. Chinas Bahnen (lange verhindert durch den Widerstand des Volkes; Wasserverkehr!), im Norden angeschlossen an die Mandschurische Linie (Mukden und Charbin) sind doch wenig zahlreich (1925 12020 km); am wichtigsten erscheinen die Strecken Peking—Hankou, Kanton—Hanoi—Yünnan, Peking—Tsinan, Nanking—Schanghai mit einem Zweig nach Tsingtau (Kiautschou). Von der (übrigens für den internationalen Frachtverkehr derzeit gesperrten) transsibirischen Bahn war schon die Rede; sie entsendet von Samara aus die Orenburger Bahn über Orenburg nach Taschkent, wo die bereits von Andischan herkommende Transkaspische Bahn über Samarkand, Merw nach Krasnowodsk am Kaspisee (über den Dampfer weiterführen), anschließt; Taschkent—Krasnowodsk sind 1863, Taschkent—Orenburg 1852 km voneinander entfernt. Der Ausbau der Verbindungsstücke zwischen russischem und indischem Bahnnetz Merw über Kuschk (213 km bereits fertig) nach Neu Chamon oder von Samarkand nach Peschawar scheiterte bisher an dem russisch-britischen Gegensatz; doch würden hier hervorragende Weltverkehrslinien entstehen. Aus ähnlichen politischen Gründen (neben der — von den Ölfeldern abgesehen — natürlichen Armut und geringe Kulturhöhe des Gebietes) klafft bisher im Hochland von Iran eine Verkehrslücke, für die zunächst nur Bahnprojekte vorliegen. Jenseits dieser Verkehrslücke gibt es noch zwei bemerkenswerte Netze in Vorderasien und Arabien. Jenes gipfelt in der Anatolischen Bahn Kleinasiens (Haidar Pascha gegenüber Konstantinopel bzw. Smyrna bis Konia und Adana) und in der Bagdadbahn Mesopotamiens (Adana, Taurustunnel, Mossul, Bagdad, Basra und Koweit am Persischen Golf), beide größtenteils mit deutschem Gelde und Können gebaut; doch fehlt bei der Bagdadbahn das Teilstück Nisibin—Tekrit. Längs des arabischen Westrandes führt von Haleb (Aleppo), auch an die Küste (Beirut, Haifa) angeschlossen, die Hedschasbahn über Damaskus nach Medina, das auch mit dem Hafen Dschidda am Roten Meere verbunden ist (Damaskus—Medina 1450 km). Da seit dem Kriege Haifa (über Jerusalem) auch von Kairo, und zwar durch den Kairoexpreß in einem Tage zu erreichen ist, besteht heute bereits ein direkter Schienenstrang von Kairo (über Konstantinopel und Berlin) bis London. — Das 30 Millionen Quadratkilometer umfassende Afrika zählt (1925) mit 60631 ebensoviele Bahnkilometer als Deutschland allein, und ziehen wir Südafrika ab, sogar um 30% weniger.

Daß Afrika überwiegend Hochland ist, das von der Küste aus nur in jähem Steilanstieg überwunden werden kann, daß gewaltige Gebiete von Wüste, Steppe oder feuchtem Tropenwald eingenommen werden und daß der Kultur- und Wirtschaftsgrad der eingeborenen Bevölkerung relativ gering ist, hat den Bahnbau nur langsam, am meisten noch in den älteren europäischen Kolonien und in der Nähe der Küste fortschreiten lassen. Von der Besserstellung Südafrikas wurde schon gesprochen; die britische Union besitzt allein 18901 km, wozu 2704 km des nunmehr ihm verbundenen ehemaligen Deutsch-Südwestafrika kommen. Das Netz geht bereits bis Buthama im erzreichen Katanga, der südöstlichsten Provinz von Belgisch-Kongo. Ähnliche Schienenlängen finden sich in den französischen Algerien-Tunesien (7779 km) und in Ägypten (einschließlich des Sudans 7876 km). Das ägyptische, schon über Chartum nach Süden hinausgeführte Bahnnetz soll nach dem bekannten englischen, vor allem für die wirtschaftliche Entwicklung großer Gebiete bedeutsamen Plan einer Kap-Kairo-Bahn (8000 km) dem südafrikanischen Netze angeschlossen werden; im Mittelstück fehlen freilich noch an die 3000 km (Luftlinie). Die übrigen Bahnen Afrikas sind teils von der Küste ins Land eindringende Stichbahnen, teils Flußbahnen zur Umgehung von Kataraktenstrecken. Beide Typen vereinigen die Kongomündungsbahn (s. unten), die Bahnen in Oberguinea von Lagos an den unteren Niger und in Senegambien von Dakar an den Senegal und zum oberen Niger (bei Kulikoro). Wichtigere Stichbahnen sind die Berberbahn (El Obeid oder Sennar über Chartum nach Suakin bzw. nach dem benachbarten Port Sudan am Roten Meer), die äthiopische Bahn (Addis Abeba nach Djibouti), die Ugandabahn (Port Florence am Victoriasee nach Mombasa) und die Deutschostafrikanische Zentralbahn (vom Tanganjika-See nach Daressalaam). Diese ist heute bereits jenseits des Tanganjika-Sees (Albertville) bis Buli am Kongo weitergeführt; und in ihrer Fortsetzung dürfte die erste Verwirklichung einer westöstlichen Überschienung (transafrikanischen Zentralbahn) erfolgen; eine Überquerung unter Benutzung der Kongowasserstraße und der Umgehungsbahnen in den Kataraktstrecken ist bereits heute (in 39 Tagen gegen Osten, in 32 gegen Westen hin) möglich. Andere ostwestliche Überschienungen mit Verwendung vorhandener Linien (Swakopmund über Bulawayo nach Beira oder Benguella nach Daressalaam oder von Duala an der Biafrabai über den Tsadsee und Chartum nach Port Sudan werden wohl auch noch auf lange hinaus bloße Pläne bleiben. Eine nordsüdliche Bahnverbindung, allerdings nicht von der Länge der Kap-Kairo-Bahn hatten die Franzosen in der transsaharischen Bahn zur Verbindung ihrer nordafrikanischen Kolonien aus strategischen Gründen bauen wollen; sie dürften aber auf den Plan verzichten, nachdem die Durchquerung der Sahara auf Automobilen geglückt ist. Gegenüber Afrika hat Australien im Verhältnis zu seiner Größe mehr Eisenbahnen; ohne Neuseeland und Tasmanien besitzt es (1925) 48457 km (um 12174 weniger als Afrika bei kaum einem Drittel seiner Größe); freilich stören vielfach verschiedene Spurweiten. In Südostaustralien (Bundesstaat Neusüdwales) liegen auf 801494 qkm (1925) 9100 Eisenbahnkilometer, im Nordosten (Queensland) auf 1736500 qkm 11373 km; diese beiden Teile, die 33% ganz Australiens einnehmen, tragen allerdings die Hälfte seiner Bahnlinien. Immerhin zieht von der Ostmitte eine Küstenrandbahn über den Süden bis zum Westen (Goldfelder!) hin; sie läuft von Rockhampton über Brisbane, Sydney,

Melbourne, Adelaide, Port Auguſta, Coolgardie und Perth über Geraldton hinaus, eine gewaltige und weltwirtſchaftlich wichtige Überlandſtrecke, die auch bedeutſame Stichbahnen ins Innere ſendet. Zwei Nordſüd-Überlandbahnen ſind geplant: eine längs des Überlandtelegraphen von Port Auguſta nach Port Darwin, eine andere (weil durch wertvollere Gebiete führend, ausſichtsreichere) würde von Port Darwin, mehr gegen Südoſten gerichtet als die vorhergehende, in Bourke am Darling den Anſchluß an die vorhandenen Linien finden.

Schon aus unſeren einleitenden Ausführungen über den Eiſenbahnverkehr war zu erſehen, daß ihm in Nordamerika (wie in Europa) eine beſondere Bedeutung gegeben iſt. Verengen wir das Geltungsbereich, ſo treten die Vereinigten Staaten von Amerika (1925) mit 403785 km weit ſtärker hervor als Kanada (64523 km), deſſen ſüdliche Teile da vorzüglich in Betracht kommen, und Mexiko (26462 km); in der Union ſelbſt aber iſt viel mehr der älter beſiedelte, wirtſchaftlich entwickeltere Oſten beteiligt als der Weſten, und beſonders eng drängen ſich die Linien in der an landwirtſchaftlichen, Wald- und montaniſtiſchen Erzeugniſſen reichen Umgebung der großen Kanadiſchen Seen, wo der Waſſerverkehr und Landverkehr ineinandergreifen: Chicago am Südweſtende des Michigan-Sees heißt nicht bloß „die Königin der Seen", die Stadt vereinigt auch als wichtigſter Bahnknoten des Kontinents, ja der ganzen Erde in acht Bahnhöfen die Schienenwege von 38 Bahnſyſtemen. Auch von den großen, Atlantiſchen und Stillen Ozean verbindenden Pazifikbahnen als Pionieren der Ziviliſation war ſchon die Rede; die Schienenlegung von Ozean zu Ozean wurde in Nordamerika um ſo wichtiger, als dieſer Erdteil einer Umfahrung im Norden auf Schiffen kaum zu überwindende, jedenfalls eine regelmäßige Schiffahrt ausſchließende Schwierigkeiten entgegenſetzt und der Durchſtich des Panamakanales ja erſt in die jüngſte Zeit fällt. Außer der früher erwähnten älteſten, der Union und Central Pazifikbahn von 1869 bauten die Vereinigten Staaten von Amerika 1881 die Atkinſon-, Topeca- und Santa Fé-Pazifikbahn (New York, St. Louis, Kanſas, Topeca, Santa Fé einerſeits nach El Paſo an der mexikaniſchen Grenze, anderſeits nach Los Angeles) und im gleichen Jahre die Southern (ſüdliche) Pazifikbahn (New Orleans, San Antiono, El Paſo, Los Angeles, San Franziſko), 1883 die Northern (nördliche) Pazifikbahn (Chicago, St. Paul, Duluth am Weſtende des Oberer Sees, Fargo, Bismarck, Helena, Portland, Seattle am Pugetſund), 1889 die Atlantic- und Pazifikbahn (New Pork, St. Louis, Albuquerque, Los Angeles bzw. San Franziſko). 1896 folgte die Greath Northern (die große Nordbahn) von (New York) St. Paul über Spokane nach Seattle, 1909 die Pazifikbahn Chicago, Milwaukee, Pugetſund. Außerdem gibt es die Texas Pazifikbahn: New Orleans, Dallas, Los Angeles und die Kanſas City-, Mexiko- und Orientbahn, die von Kanſas City ausgeht und in Topolobampo in Mexiko endet. Im ganzen alſo beſtehen neun Überlandbahnen, die (auch untereinander verbunden) 5—6000 km lang ſind und deren Endpunkte in $4^1/_2$—6 Tagen zu erreichen ſind. Kanada beſitzt vorläufig zwei ſolcher Überlandbahnen: die 1886 eröffnete bekannte Canadian Pazifikbahn von Halifax über Montreal, Fort William, Winnipeg und Regina nach Vancouver und die erſt 1914 vollendete Grand Trunk Pazificbahn von Quebec über Winnipeg nach Prince Rupert. Jene ältere Linie iſt als ein wichtiges Stück der britiſchen „Erdball"-Linie (All Red Route) gedacht, die, natürlich

auch Dampferstrecken einschließend (zum Beispiel Irland—Halifax, Vancouver—Sydney), im Wettbewerb mit Panama- und Suezkanal, bei einer Befahrung des Erdrundes auf britischen Verkehrsmitteln nur britisches Gebiet berühren soll. In Mexiko sind fast bedeutsamer als die Überlandbahnen die zum Anschluß an die Vereinigten Staaten von Amerika führenden Längslinien: so die von Laredo in der Union nach Tampico am Golf von Mexiko oder El Paso in der Union über Torreon, Zacatecas, Mexiko nach Oaxaca oder von Nogales über Guaymas längs der pazifischen Küste über Mazatlan nach Mexiko. Die beiden Querbahnen Mexikos sind die sog. Tehuantepec-Bahn (310 km) von Puerto Mexiko nach Tehuantepec, deren Verkehr in jüngster Zeit freilich stark nachgelassen hat, und (seit 1908) die Linie Tampico über Guadalajara nach Manzanillo. Das schmale Mittelamerika konnte Überlandbahnen verhältnismäßig leicht bauen, sie haben aber (einschließlich der Panamabahn: von Colón auf der atlantischen Seite nach Panama an der pazifischen Küste) doch mehr lokale Bedeutung; in Guatemala sind Puerto Barrios und San José, in Honduras Puerto Cortez und La Brea, in Costarika Puerto Limón und Puntarenas verbunden; Nicaragua hat bei seiner Überlandbahn Greytown (S. Juan del Norte) im Osten, Nicaraguasee nach Corinto im Westen ein Dampferzwischenstück. Die großen Antillen sind mit Eisenbahnen nicht ungünstig gestellt; Kuba mit seinen 166122 qkm hat (1925) 5991 km Schienenlänge, das 10895 qkm umfassende Jamaika, 330 km, das mit 9314 qkm etwas kleinere Portoriko 547 km. Kubas Hauptport Habana ist von der Halbinsel Florida sogar im Eisenbahnzug zu erreichen; bis zur Insel Key West läuft der Zug auf zusammen 120 km langen Überbrückungen der zwischen den einzelnen Inseln gelegenen Kanäle, von Key West führen Trajektdampfer die Züge in 4—4½ Stunden nach Habana. Nordamerika ist mit Südamerika vorläufig durch keine Längsbahn verbunden, doch ist für Mittelamerika wenigstens der Zusammenschluß einzelner Längsstrecken zu einem Ganzen geplant; aber selbst nach der Verwirklichung dieses Planes wird es mit der schon seit 1890 aus politischen Erwägungen („Panamerikanismus") in Aussicht genommenen „panamerikanischen" Bahn, die von New York nach Buenos Aires gehen soll, noch gute Weile haben (auch wird ihr ebenfalls die Erschwerung verschiedener Spurweiten anhaften). Denn auch Südamerika besitzt von dieser überwiegend an der Westseite des Erdteils entlang gedachten Bahnlinie im Nordteil noch nichts; Oberflächenbau, klimatische Verhältnisse und geringe wirtschaftliche Entwicklung der Länder haben hier dem Bahnbau überhaupt vielfache Hemmnisse bereitet. Erst vom südlichen Peru aus ist über Bolivien (La Paz) und Chile eine Längsverbindung hergestellt, die auch an die Bahnen des Südostens (Argentinien, Uruguay, Südbrasilien) angeschlossen ist. Auch in Südamerika ist (wie in Nordamerika) ein westöstlich gerichtetes Wirtschaftsinteresse vorhanden, obgleich die Umschiffung Südamerikas (um das Kap Hoorn oder durch die Magellanstraße) auf viel geringere Schwierigkeiten stößt, das heißt praktisch durchführbar, wenn auch nicht ungefährlich ist. Allerdings besteht bisher nur die bereits erwähnte Überlandbahn Valparaiso (Chile) nach Buenos Aires (Argentinien) und auch sie kann gelegentlich im Winter wegen gewaltiger Schneeverwehungen nicht verkehren. Eine andere Überlandbahn dürfte in absehbarer Zeit vollendet sein; sie wird die Längsbahn Buenos Aires über Tucumán nach Südbolivien nördlich von Tucumán bei Salta verlassen und gegen Antofagosta

an der chilenischen Küste ziehen. Eine dritte soll in Fortsetzung des schon ausgebauten Stückes Bahia Blanca an der argentinischen Ostküste bis Neuquén über die Anden nach Lebu in Chile weitergeführt werden. Argentinien, Chile, Südbrasilien und Uruguay haben heute wenigstens so viel Schienenlängen, daß die Hauptbedürfnisse befriedigt erscheinen; Argentinien besitzt auf 2894000 qkm (1925) 37790 km Schienenlänge, das fast Australiens Größe einnehmende Brasilien (8486000 qkm) 30500 km, deren Hauptteil im Süden des Landes liegt, während sonst nur Stichbahnen von der Küste in wichtigere Produktionsgebiete des Inneren vordringen. Chiles Bahnen sind gut angelegt, indem die das große Längstal, das Herz des Landes, durchziehende Längsbahn Queräste nach der Küste oder (seltener) ins Innere ausschickt. Berühmt sind einzelne Gebirgsbahnen Südamerikas, die von der pazifischen Küste aus die Anden ersteigen; sie gehen in Ekuador von Quito, in Peru von Callao (bei Lima) und Mollendo, in Nordchile von Arica und Antofagasta aus. Erwähnenswert, weil wirtschaftlich bedeutsam, ist auch die im Innern Brasiliens 1907—12 zur Umgehung der Stromschnellen des Madeira gebaute (363 km lange) Madeira-Mamorébahn.

* *
*

Für den Weltverkehr ist das Meer weit bedeutsamer als die Binnenschiffahrt. Es ist den Binnenwasserstraßen gegenüber im Vorteil durch seine größere Tiefe und die damit verbundene größere Tragfähigkeit, aber auch dadurch, daß es, wenigstens theoretisch, nach allen Richtungen hin befahrbar ist. Der Welthandel, das ist der gesamte Außenhandel aller Staaten, vollzieht sich zu etwa vier Fünfteln als Seeverkehr, Deutschland benützte 1924 für rund die Hälfte seines gesamten Güterverkehres mit dem Auslande den Seeweg. In Wirklichkeit werden nun freilich nicht alle Richtungen befahren, drängen besonders Wind, Meeresströmungen und Treibeis in erster Linie die Segelschiffahrt, weniger die Dampfschiffahrt auf bestimmte Wege, sind in hohen Breiten die Meere Schiffen nur zu bestimmten Zeiten und auf wenigen Wegen zugänglich, spielt sich vor allem aber der Verkehr gewöhnlich zu denselben Ländern ab, zu denen man den soweit als möglich kürzesten Weg einzuschlagen bemüht ist. Die Schwierigkeit einer fortlaufenden Orientierung nach den Gestirnen bei längerer Fahrt, die ohne Bewölkung und Nebel kaum abgeht, läßt es begreiflich erscheinen, daß in Zeiten, die den Kompaß nicht kannten, die hohe See vielfach gescheut wurde — wie auch die Seeschiffahrt des Mittelmeerkulturkreises im Altertum durch sehr lange Jahrhunderte nur Küstenschiffahrt war, die sich innerhalb sichtbarer Landmarken von Kap zu Kap, von Insel zu Insel vorschob, beständig im Kampfe mit Stürmen, Untiefen und Brandung. Bloß den Anblick des Meeres gewöhnte, durch Fischfang mit ihm ununterbrochen in Fühlung stehende Küstenvölker, haben den Wagemut aufgebracht, der auch zu weiterer Fahrt reizte und sie haben schließlich auch den Versuch unternommen, quer über das Meer zu gelangen. Dies taten die Phönizier, denen später die Griechen folgten, als sie von Kreta nach Malta, von Nordafrika nach Sizilien fuhren; Küstenschiffahrt war auch nicht mehr der schon im Altertum oft gesuchte Weg von den Rändern des Roten Meeres nach Indien oder der nach dem Goldlande Ophir (Südafrika). Noch höher wäre die

Leistung der Normannen zu veranschlagen, die früh im Mittelalter die Reise von Island nach Grönland und an die Nordostküste Nordamerikas wagten oder jene der Malaien, die aus ihrer Heimat auf der südostasiatischen Inselwelt über die Südsee hinwegziehend, die Osthälfte Madagaskars besiedelten, der Araber, die zu Schiffe bis China und Japan gelangten. Als man im Abendlande den von den Chinesen erfundenen Kompaß zu gebrauchen wußte, wurden die Italiener auf dem Mittelländischen Meere immer heimischer. Die eigentliche Geschichte der Seeschiffahrt beginnt aber doch erst, als Kolumbus 1492 auf der Fahrt, die ihn Amerika entdecken ließ, den Atlantischen Ozean in siebzig Tagen überquerte (moderne Schnelldampfer fahren heute von England nach den Vereinigten Staaten in fünf bis sechs Tagen), Vasco da Gama 1498 Afrika umsegelnd nach Vorderindien kam und Magalhaes (Magellan) 1519—1521 um Südamerika herum die erste Weltumseglung glückte, die er freilich nicht selbst vollenden durfte. Diese Seeschiffahrt ist die längste Zeit Segelschiffahrt; sie lernt immer besser sich den in den verschiedenen Teilen herrschenden Winden (wechselnd nach Richtung, Stärke, Beständigkeit und nach einzelnen Jahreszeiten) und den Meeresströmungen anzupassen und sich ihrer zu bedienen; heute sind alle Erfahrungen, wissenschaftlich verarbeitet, in „Segelhandbüchern" bequem der allgemeinen Verwertung dargeboten, und sie lassen jeweils für bestimmte Fahrten die besten Wege finden, wobei allerdings das Ziel oft bloß unter großen Umwegen zu erreichen ist. Seit dem Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts ist die Segelschiffahrt von der Dampf- und Motorschiffahrt wegen ihrer größeren Unabhängigkeit gegenüber Wind und Strömungen wie wegen ihrer Schnelligkeit überflügelt worden (die schnellsten Passagierdampfer fahren 41—48 km in der Stunde, gewöhnliche Dampfer weniger). Ein Segelschiff bewältigt in der Zeiteinheit nur ungefähr ein Drittel der Frachtleistung des Dampfers, so daß man die effektive Tragfähigkeit einer Handelsflotte dadurch ausdrücken wollte, daß man (das gebräuchliche Raummaß ist die Registertonne, abgekürzt RT., zu 2,832 cbm) zum dreifachen Nettogehalt der Dampfer den einfachen der Segler dazuzählte. Für 1914 hat man die effektive Tragfähigkeit der Welthandelsflotte auf 84 Millionen Netto-RT. geschätzt, wobei sich Segler zu Dampfern wie 1 : 24 verhielten; daran war Großbritannien mit 35,6%, Deutschland mit 9,0, Norwegen mit 4,2, Frankreich mit 3,3 und Italien mit 3,2% beteiligt. Gegenwärtig kommt die Segelschiffahrt fast nur mehr für schwere und nicht leicht verderbliche Massengüter in Betracht, für deren Verfrachtung die Zeit keine besondere Rolle spielt, sie ist jetzt meist auf Küstenfahrt und auf jene Gebiete beschränkt, in deren Nähe für Rückfracht gesorgt ist. So geht Reis aus Hinterindien, Salpeter aus Chile mit englischer Kohle als Rückfracht; die Kap Hoorn-Route ist derzeit der befahrenste Seglerweg. Am 1. Juli 1928 betrug vom Bestande der gesamten Handelsmarine (wobei Schiffe unter 100 RT. außer acht gelassen sind) die Zahl der Segelschiffe 3621, jene der Dampf- und Motorschiffe dagegen 29387; 1914 war das Verhältnis noch 6392 zu 24444. Berücksichtigt man den Raumgehalt, so verschiebt sich das Bild noch mehr zuungunsten der Segelschiffe: 1928 besaßen die Segelschiffe einen Brutto-Raumgehalt von 1795246, die Dampf- und Motorschiffe einen solchen von 6519413 RT. Die mit Öl gespeiste Schiffahrt und die Motorschiffahrt sind Kinder der jüngsten Zeit; neben die zahlreichen, bei längerer Fahrt zumal für die Kriegsschiffe notwendigen Kohlenstationen sind

die Ölbunkerstationen getreten (die Plätze mit Ölreservoiren), die beide in einer ausgezeichneten von Schweer bearbeiteten Karte (Hamburg, L. Friederichsen) sorgfältig vermerkt sind. Auch der Raumgehalt der einzelnen Schiffe hat gegen früher bedeutend zugenommen: 1912 betrug die Durchschnittsgröße der Dampfer bei der Hauptflotte 1750 Brutto- bzw. 1080 Netto-RT. Personendampfer sind gewöhnlich größer als Frachtdampfer; außergewöhnlichen Umfang besitzen die von der „Hapag" (Hamburg-Amerikanische Paketfahrt Aktiengesellschaft) in rund 290 m Länge und 30 m Breite gebaute „Vaterland" mit 59956 Brutto-RT. und die „Bismarck" mit 56551 Brutto-RT., von denen jene heute als „Leviathan" den United States Lines, diese als „Majestic" der White Star Linie gehört; der etwa gleich große „Imperator" der Hapag steht heute als „Berengaria" in Diensten der Cunard Line. Das größte Vorkriegsschiff des Norddeutschen Lloyd war der 1914 erbaute, 37000 RT. umfassende „Columbus". Nicht immer ist es möglich, außer dem Bruttoraumgehalt auch den Nettoinhalt (also den für die Beladung wirklich verfügbaren Raum) anzugeben, da ihn viele Statistiken heute nicht mehr enthalten; er beträgt durchschnittlich 55 bis 70% des Bruttoraumes (Maschinen-, Kohlen-, Mannschafts- und Verwaltungsräume!). Die folgenden Tabellen geben (nach dem Statistischen Jahrbuch für das Deutsche Reich 1928) eine Übersicht, einmal des gegenwärtigen Bestandes der Handelsmarinen in den wichtigsten seefahrenden Staaten, sodann der Neubauten von Schiffen; beide ermöglichen einen Vergleich mit der Vorkriegszeit. Die Gesamttonnage der Welthandelsflotte ist zunächst seit dem Kriege gestiegen; sie hat sich von 49 Millionen Brutto-RT. im Jahre 1914 auf 66,96 Millionen um Mitte 1928, also um rund 30% vermehrt. Auch die Leistungsfähigkeit ist zweifellos durch Erhöhung der Fracht- und Ladegeschwindigkeit größer geworden; dagegen dürfte der Weltverkehr infolge der Verarmung Europas, der fortschreitenden Industrialisierung der übrigen Erdteile, der amerikanischen Einwanderungsverbote, des geringen Handels mit Rußland, der Unruhen in China usw. gegenwärtig um etwa ein Viertel des Vorkriegsstandes abgenommen haben. Deutschland stand vor dem Kriege hinsichtlich des Raumgehaltes seiner Handelsflotte hinter Großbritannien und den Vereinigten Staaten von Amerika an dritter Stelle, es befuhr sogar das Weltmeer sicherlich stärker als die Union, deren Küstenschiffahrt namhafter war, in seinen Häfen betrug der Verkehr der fremden Flaggen nur wenig mehr als ein Drittel — er ist heute auf über die Hälfte des Gesamtverkehrs gestiegen. Durch Versailles wurde Deutschland fast seiner ganzen Handelsflotte, vornehmlich zugunsten Englands beraubt. Um so bewundernswerter, daß es heute bereits wieder an die dritte Stelle vorgerückt ist. Gewaltig ist das Anschwellen der Handelsflotte der Vereinigten Staaten von Amerika seit dem Kriege; sie haben ihre Nettotonnage mehr als verdreifacht, wodurch auch der Hundertsatzanteil Großbritanniens an der Welthandelsflotte gegenüber der Vorkriegszeit sich vermindert hat. 1913 beförderten die Vereinigten Staaten von Amerika nicht einmal ein Zehntel ihrer den Seeweg einschlagenden Ausfuhr auf eigenen Schiffen, 1921 aber schon rund die Hälfte. Auch Japans Handelsflotte hat sich seit 1914 stark vermehrt. Mit dem Bestande der Handelsmarine hat sich seit dem Kriege auch die Stellung der einzelnen Schiffahrtsgesellschaften geändert. Vor dem Kriege waren die beiden größten die deutschen Unternehmen

der schon genannten „Hapag" mit dem Sitz in Hamburg und des Norddeutschen Lloyd mit dem Sitz in Bremen. Sie sind derzeit in neuem Aufstieg begriffen, der sie bald noch über ihre Vorkriegsbedeutung hinausführen wird. Diesen Aufstieg zu unterstützen, gingen beide zeitweilig mit großen amerikanischen Reedereien Gemeinschaftsverhältnisse ein (die Hapag 1920 mit dem Harriman-Konzern, den United American Lines Inc. New York), beide haben sich überdies andere bedeutende deutsche Linien einverleibt: die Hapag die deutsche Levantelinie, die Hugo-Stinnes-A.-G. für Seeschiffahrt und Überseehandel (Hamburg), die Deutsch-Australische Dampfschiffahrtsgesellschaft (Hamburg) und die Deutsche Dampfschiffahrtsgesellschaft Kosmos (Hamburg), der Norddeutsche Lloyd die Roland-Linie A.-G. (Bremen), die Hamburg-Bremen-Afrika-Linie A. G. (Bremen), die Argo und die Horn A. G. (Lübeck). Derzeit dürfte die Hapag einen Tonnenbestand von über $2^1/_2$ Mill. Brutto-RT., der Norddeutsche Lloyd einen Tonnenbestand von rund 1 Mill. Brutto-RT. haben. Andere deutsche Schiffahrtsgesellschaften sind z. B. die Dampfschiffahrtsgesellschaft Hansa (Bremen), die Hamburg-Südamerikanische Dampfschiffahrtsgesellschaft, die Deutsch-Ostafrikanische A.-G. (Hamburg) und die Woermann-Linie A. G. (Hamburg). Die bedeutendsten ausländischen Schifffahrtsgesellschaften sind: in England der „P. and O."-Konzern, der unter Führung der Peninsular and Oriental Steam Navigation Co. 14 Gesellschaften mit $2^1/_2$ Mill. RT. umfaßt, der Konzern der Royal Mail Steam Packet Co. mit 28 Gesellschaften und ebenfalls $2^1/_2$ Mill. RT., der Cunard-Konzern ($1^1/_4$ Mill. RT.) und die Ellerman Lines (über 1 Mill. RT.); in Frankreich die Compagnie Générale Transatlantique, die Fabre-Linie und die Chargeurs Réunis; in Japan die Nippon Yusen Kaisha Linie.

Ist die Seeverkehrskraft der verschiedenen Staaten durch ihren Bestand an Handelsschiffen doch wenigstens einigermaßen zu kennzeichnen, so ist es viel schwerer, den Verkehrswert der einzelnen Meere zu bestimmen; man wird ihn am zweckmäßigsten nach der Zahl der auf den einzelnen Seewegen sich bewegenden Schiffe und noch besser, nach der Menge der in der Zeiteinheit auf ihnen verkehrenden Schiffsräume abschätzen können; er wird naturgemäß abhängig sein von der Ausstattung der jeweiligen Randländer mit pflanzlichen, tierischen und mineralischen Reichtümern wie hinsichtlich der Zahl, Wirtschafts- und Kulturhöhe ihrer Bewohner. Für 1908, also vor der Eröffnung des Panamakanales hat A. Oppel den Verkehrswert der einzelnen Hauptmeere wie folgt berechnet: den Verkehrswert des Atlantischen Ozeans mit 73%, jenen des Stillen Ozeans mit 20, des Indischen mit 6 (des Eismeeres mit 1%). Nach Barmm lauten die entsprechenden Zahlen 77, 15 und 8%. Man hat auch Karten gezeichnet, die den Weltverkehr zur See veranschaulichen sollen; sie verraten natürlich gleichzeitig die Gebiete, die empfangend und gebend im Mittelpunkt der Weltwirtschaft stehen, entweder für Rohstoffe und Nahrungsmittel oder für Fertigwaren. Auch die überragende Stellung Nordwesteuropas und der atlantischen Berührungsfläche Kanadas und der Vereinigten Staaten von Amerika ist ohne weiteres ersichtlich. M. Eckert hat 1908 eine solche Karte entworfen; auf ihr entspricht die Breite der Verkehrswege genau der Menge der auf diesen Wegen ein- und ausgehenden Netto-RT. Eine andere Karte rührt von R. Reinhard her; sie gilt für das Jahr 1922; bei ihr entspricht aber die Breite der Verkehrsbänder der Häufigkeit des Verkehrs auf dem betreffenden Wege. Aus

beiden Karten aber tritt aufs deutlichste die überragende Bedeutung hervor, die das nordatlantische Verkehrsband (die „Nordatlantische Fähre") besitzt, also jenes Band, welches Nordwesteuropa, hauptsächlich durch den Ärmelkanal mit der südwestlich gegenüberliegenden Küste Nordamerikas (New York!) verbindet. An zweiter Stelle folgt das von Nordwesteuropa ausgehende und durch das Mittelländische und Rote Meer nach Indien gerichtete Verkehrsband („Suezroute"), das sich dann schwächer, nachdem es vorher schon vom Golf von Aden aus einen Zweig an die ostafrikanische Küste entsendet hat, einerseits durch die Malakkastraße nach Ostasien, anderseits nach Australien hin fortsetzt. Der Ärmelkanal (dieser für beide Wege), Gibraltar, Suez, die Bab el Mandeb-Straße (Aden), Singapore an der Malakkastraße sind als Meerengen Stellen stärkerer Zusammenballung des Verkehrs; ihre Bedeutung erkennend, hat England längst die wichtigsten Stellen in seine Hände zu bringen gewußt und sie zu gewaltigen strategischen Flottenstützpunkten ausgebaut. Auch der „Sund" (Kopenhagen), die Magellanstraße, Bosporus und Dardanellen sind übrigens aus denselben Gründen außerordentlich verkehrsreich, nur haben wir ihre Gebiete in unsere Übersicht nicht einbezogen. Nicht viel schwächer wie der nach Indien zielende Verkehr dürfte der von Nordwesteuropa (ebenfalls durch den Ärmelkanal gehende) nach den atlantischen Häfen Südamerikas sein, vor allem ins La Plata-Mündungsgebiet; und in weiteren Abständen sind die Linien zu nennen, die von Nordwesteuropa um Westafrika herum, von Nordwesteuropa oder Nordostamerika nach Westindien, von Nordostamerika (San Franzisko, Vancouver) längs der amerikanischen Westküste oder über den Pazifik einerseits nach Japan und China, anderseits über die Hawaii-, Samoa- und Fidschiinseln nach Südostaustralien gehen. Seit der Eröffnung des Panamakanals zieht ein wichtiges Verkehrsband durch ihn vom Atlantischen Ozean nach dem Stillen Ozean und in umgekehrter Richtung, auch hat sich seit dem Weltkriege der direkte Verkehr zwischen Nordost- und Südostamerika bedeutend verdichtet.

Die westöstlich gerichtete Seefahrt hat seit langem besonders zwei Landengenschranken wegen der weiten Umwege, zu denen sie zwangen, als lästig empfunden: die Landenge von Suez und jene von Panama. Ein Schiffskanal vom Nil zum Roten Meer war schon im Altertum und auch im siebenten vorchristlichen Jahrhundert errichtet worden, doch erst 1859—69 wurde der heutige, freilich seit seinem Bau immer wieder in seinen Ausmaßen vergrößerte Suezkanal geschaffen. Gegenwärtig überwiegend in englischen Händen (Suezkanalgesellschaft), ist er zwischen Port Said und Suez 168 km lang (davon 38 km Binnenseen) und besitzt keine Schleusen; an seinem Spiegel 80—135 m, an der Sohle 45—100 m breit, ist er bei einer Tiefe von 11—12 m für Schiffe bis 9,45 m zugänglich, also nur für die größten Schiffe nicht befahrbar. Die Wegersparnis im Seeverkehr zwischen Europa und Süd- und Ostasien wie Australien und Nordostafrika ist außerordentlich bedeutend; sie beträgt gegenüber dem Weg um das Kap der Guten Hoffnung herum von London bis Bombay $43^1/_2\,\%$, bis Rangun $33^1/_2\,\%$, bis Yokohama $24\,\%$. Doch benützen den Suezkanal bloß Dampfer; Segler wählen ihn nicht wegen der hohen Kanalgebühren und der ungünstigen Winde im Roten Meere. Die Schiffsbewegung im Suezkanal hat den Vorkriegsstand (nach starkem Abflauen während des Krieges) bereits überschritten, auch spielt die deutsche Flagge (vor dem Kriege mit $15\,\%$ der den Kanal

durchfahrenden Schiffe an zweiter Stelle) wieder eine beachtliche Rolle (sie war bereits 1924 mit 6,4%, 1927 mit 9,3% des Raumgehaltes der Schiffe beteiligt). 1910 betrug die Anzahl der Schiffe 4533 mit einer Nettotonnage von 16581898 RT., 1920 waren es 4009 Schiffe mit 17574657 Netto-RT., 1924 5021 Schiffe mit 19807000 Netto-RT., 1927 5422 Schiffe mit 22670000 Netto-RT.; die Ladung betrug 1913 25776000 Gewichtstonnen, 1921 17509000 Gewichtstonnen (und 295199 Personen), 1924 (wie 1913) wieder 25529000, 1926 24030000 Gewichtstonnen. Die Einnahmen machten 1921 147,5, 1924 185,2 Millionen Fr. aus. Der zweite Weltverkehrskanal ist der Panamakanal, dessen Ausführung — als Plan bis ins 16. Jahrhundert zurückgehend — beim ersten Versuche seiner Verwirklichung nach 1879 zunächst scheiterte und erst seit 1903 durch die Vereinigten Staaten von Amerika zielbewußt als Schleusenkanal (6 Schleusen) mit einer rund 50 km langen Scheitelstrecke in 25,9 m über dem Meere in Angriff genommen und, nach Überwindung großer technischer Schwierigkeiten (80 m tiefer Einschnitt in den 100 m hohen Culebrarücken), 1914 vollendet und auch später noch gegen große Erdrutsche gesichert wurde (1920 amtliche Eröffnung). Der 420 qkm große Gabunsee, d. i. der durch eine Talsperre aufgestaute, wegen seiner großen Wasserstandsschwankungen gefährliche Chagres-Unterlauf, gibt das für die Durchschleusung erforderliche Wasser. Die Länge des Panamakanales beträgt 81,3 km (äußerste Endpunkte sind: Cristóbal und Balboa), die geringste Breite am Boden 91,4 m, die geringste Tiefe 12,5 m; die Durchfahrt dauert für mittlere Schiffe 7—9, für größere 9—11 Stunden. Ein anderer Plan (vom Jahre 1888), die Verbindung zwischen beiden Ozeanen über die nördlicher gelegene Landenge von Nikaragua herzustellen, ist bald aufgegeben worden. Der Panamakanal, den sich die Vereinigten Staaten 1903/4 durch Erwerb der 1365 qkm umfassenden Panamakanalzone beiderseits des Kanals und der Inseln in der Dreimeilenzone wie in der Bucht von Panama sicherten, läßt die vereinsstaatliche Kriegsflotte schnell aus einem Ozean in den anderen gelangen, er knüpft ihre beiderseitigen Gestadeländer enger aneinander, die Abkürzung des Seewegs von New York nach San Franzisko beträgt nicht weniger als 61,2%. Indem der Kanal gegenüber dem Weg um das Kap Hoorn aber auch die Entfernung von New York nach Guayaquil (Ekuador) um 72,6%, nach Valparaiso (Chile) um 44,5%, nach Yokohama (Japan) um 38,3, nach Hongkong (Südostasien) um 33% vermindert, erleichtert er den Wettbewerb der Vereinigten Staaten mit Europa im Handel mit diesen Ländern; denn der Weg von Hamburg aus nach allen Orten östlich von Hongkong ist gegenüber jenem von New York aus sogar länger. So ist der Verkehr durch den Kanal schon ein recht bedeutender; 1927 befuhren ihn 5475 Schiffe (davon 2587 vom Pazifischen zum Atlantischen Ozean und 2888 Schiffe in der Gegenrichtung mit einer Nettotonnage von 20982000 RT., wofür 24228830 $ als Kanalgebühren entrichtet wurden. Von der gesamten, also in beiden Richtungen geschickten Nettotonnage gehörten 11132000 RT. (= 53%) der vereinsstaatlichen Flagge an, 5554000 RT. (= 26,5%) der britischen und 624000 RT. (= 3%) der deutschen Flagge an. — An dritter Stelle unter den intermarinen Kanälen ist der 1887—1895 gebaute, 1907 vertiefte und verbreiterte Kaiser-Wilhelm-(Nordostsee-) Kanal anzuführen, der zwischen Holtenau nördlich von Kiel und Brunsbüttel quer durch die Jütische

Halbinsel Nord- und Ostsee verbindet. Er ist 98,7 km lang und besitzt eine Wasserspiegelbreite von 102 m, eine Sohlenbreite von 44 m und eine Minimaltiefe von 11 m; an seinen beiden Enden befinden sich Flutschleusen von 330 m Länge. 1913 passierten den Kanal 54628 Schiffe mit einer Nettotonnage von 10292000 RT., 1921 blieben Zahl der Schiffe (mit 32355 Fahrzeugen) und Nettotonnage (mit 9484000) noch hinter 1913 zurück, seit 1923 hat der Nettoraumgehalt den der Vorkriegszeit bereits stark überschritten (1923 44307 Schiffe mit 15405000, 1924 42373 Schiffe mit 13435000 Netto-RT., 1927 53711 Schiffe mit 19912000 Netto-RT.). Weit weniger wichtig sind ein paar andere Kanäle. Wir nennen den 1881—93 gebauten, durch die gleichnamige Landenge geführten Kanal von Korinth von 6,343 km Länge, 8 m Tiefe und am Wasserspiegel 25, an der Sohle 21 m Breite. Er wird wegen seiner relativen Kleinheit von größeren Dampfern nicht besucht, sondern mehr von kleineren griechischen Schiffen befahren; 1923 betrug der Verkehr 2680 Dampfer mit 1284168 RT. und 2155 Segler mit 56330 RT., 1927 5228 Dampfer mit 2721068 RT. und 3246 Segler mit 91470 RT. Noch geringere Tiefe (5,2 m) besitzt der 97 km lange Kaledonische Kanal, der Nordschottland in einer natürlichen, auch von Seen erfüllten Senke durchschneidet (28 Schleusen, 28,6 m Scheitelhöhe). Zwischen der Halbinsel Krim und dem Festland zieht vom Asowschen ins Schwarze Meer der Perekopkanal zur Erleichterung des Verkehrs von Odessa nach Rostow und der 16 km lange Kanal, der die Kap Code-Halbinsel der Vereinigten Staaten von Amerika (Massachusetts) an ihrer Wurzel durchbricht, verkürzt den Wasserweg zwischen Boston und New York um 220 km. Die Anlage anderer Kanäle ist, zum Teil seit langem, geplant; so soll die Halbinsel Malakka an ihrer schmalsten Stelle bei Krah, sollen die Halbinsel Florida und die Samojedenhalbinsel durchstochen werden; früher als dies dürfte wahrscheinlich die Kanalführung zwischen der Delawarebucht und der Chesapeakebai in den Vereinigten Staaten erfolgen.

Der Verkehr auf den einzelnen Weltmeeren spiegelt sich auch in der Verteilung der an ihnen gelegenen Welthäfen. Von den Riesenverkehrshäfen mit größter Nettotonnagezahl der ein- und ausgehenden Schiffe liegen die meisten auf der atlantischen Seite einerseits in Nordwesteuropa, anderseits in den Vereinigten Staaten von Amerika. Hierher gehören (die Angabe erfolgt in Millionen Netto-Registertonnen bloß des Auslandsverkehres, nicht also des Gesamtverkehrs): New York 1913/14 mit 14,6, 1923 mit 18,7, 1926 mit 20,5 Millionen Netto-RT., Hamburg 1913 mit 13,1, 1923 mit 14,5, 1927 mit 18,6, London 1913 mit 11,6, 1923 mit 14,8, 1927 mit 19,3, Liverpool mit 11,6 bzw. 12,3 und 13,1, Rotterdam mit 12,2 bzw. 11,5 und 20,9, Antwerpen mit 14,1 bzw. 17,5 und 20,2, Cardiff mit 9,0 bzw. 8,7 und 6,9, Sydney 1926/27 mit 7,9, Kobe 1926 mit 13,6 Millionen Netto-RT. Wird auch der Inlandverkehr einbezogen, so erhöhen sich die Zahlen ganz bedeutend; so hatten Hamburg 1927 einen Gesamtverkehr von 20,6 Millionen, Liverpool von 16, London von 24,6 Millionen Netto-RT. Im allgemeinen erst hinter diesen Häfen stehen eine Reihe anderer, die einen, wenngleich geringeren, so noch immer sehr bedeutenden Verkehr besitzen; sie aufzuzählen, erscheint unnötig, zumal Vergleichszahlen bei der mangelhaften Scheidung von Schiffsverkehr überhaupt und Auslandsverkehr nur schwer zu geben sind;

aber auch von ihnen liegt die größere Zahl am Atlantischen Ozean und seinen Verzweigungen.

Ob der Stille Ozean den Atlantischen an Verkehrsfülle übertreffen wird, läßt sich mit Sicherheit nicht vorhersagen, obgleich manches (vor allem die Wirtschaftsstruktur der hierbei in Frage kommenden Länder) dagegen spricht. Daß er aber weit mehr als bisher verkehrsgeographisch von Bedeutung sein wird, läßt sich zweifellos auch aus dem Anschwellen der Verkehrsbewegung ostasiatischer Häfen folgern.

Die Bedeutung der Häfen für den Verkehr liegt auf der Hand; hier gehen Land- und Wasserverkehr ineinander über. Es ist daher durchaus notwendig, wenigstens in Kürze die Eigenschaften guter Häfen anzudeuten. Eine Hauptrolle spielt bei jedem Hafen eine von der Land- und Seeseite her gleich günstige Zufahrt; sie muß sicher und bequem erfolgen können, was man, wo die Natur nicht schon vorgesorgt hat, durch künstliche Mittel zu erreichen sucht. Nur dort wird die Meeresküste selbst bevorzugt, wo Ebbe und Flut wie in der Ostsee oder im Mittelländischen Meer samt seinen Verzweigungen so gering sind, daß sie keine Störungen verursachen; gelegentlich hat man wohl auch die aus dem Gezeitenwechsel entspringenden Nachteile auszuschalten getrachtet, indem man das Hafenbecken durch Schleusen sperrte (Dockhäfen); aber auch dann bleiben gewisse Mängel bestehen. Schon aus diesem Grunde empfehlen sich Flußmündungen oder (natürliche, selbst künstliche) Buchten, die möglichst unterhalb des Einflusses der Gezeiten stehen, besser. Entsprechende Tiefe und Breite des Zuganges sind Vorbedingungen, aber nicht bloß des Zuganges, sondern noch mehr des Raumes, der die Schiffe aufnehmen soll. Denn es gilt, oft einer recht großen Zahl von Schiffen Gastrecht zu gewähren, ohne daß sie sich in ihren Bewegungen gegenseitig hindern dürfen; die Tiefe aber darf weder zu groß noch zu gering sein; einerseits sind Schiffe von 10 m Tiefgang heute nichts Seltenes mehr, überschreitet die Wassertiefe aber anderseits etwa 100 m, so ist sie als Ankergrund nicht mehr zu gebrauchen. Auch zu weicher Ankergrund ist unvorteilhaft, lehmiger am besten; klippenreicher Ankergrund ist schon manchen Schiffen bei Sturm verderblich geworden. Außer Ebbe und Flut können auch beständig gegen das Ufer anbrandende hohe Wellen und dauernd landeinwärts wehende Winde den Schiffen Schaden bringen. Die Gewalt jener vermögen dort, wo nicht die Natur durch Inseln und Halbinseln den gleichen Schutz gewährt, sog. Wellenbrecher (Dämme, von denen oft mehrere kulissenartig hintereinander gestellt sind) zu mindern, indem sie zwischen sich und der Küste ruhigeres Wasser entstehen lassen. Allzu heftige, fortdauernd gegen die Hafenküste gerichtete Winde zwingen manchmal sogar, einen Hafen ganz aufzugeben, wenn ein geschützterer sich nicht allzu weit entfernt befindet; wo die Winde halbjährlich sich ändern, benutzt man nicht selten zwei benachbarte Häfen, deren jeder einem Winde weniger Zutritt gewährt. Auch Sand und Eis bedeuten für Häfen große Gefahren. In einen Hafen mündende Flüsse, Sinkstoffe, die durch Meeresströmungen herbeigeführt werden, können, wenn diesen Vorgängen nicht entgegengearbeitet wird, mit der Zeit die Lebenskraft eines Hafens ganz unterbinden. Eine noch größere, weil immer wieder wirksame Wertminderung erfolgt durch die Vereisung. Das kanadische Montreal am St. Lorenzstrom, bis wohin Ozeandampfer gelangen können, Riga an der Rigaischen Bucht der Ostsee, sind vier bis fünf Monate

im Jahre eisblockiert. Englands und Norwegens Häfen erfahren durch die warme Atlantische Strömung, die alle ostatlantischen Häfen zur Gänze offenhält, eine ungemeine Begünstigung gegenüber den westatlantischen Häfen in der gleichen geographischen Breite. Die „offene Reede" ist überhaupt kein eigentlicher Hafen, sie vereinigt wohl alle Ungunst der Natur: Brandung und Stürme beschweren sie, die Schiffe müssen oft weit vom Strande den Anker auswerfen, der oft genug durch Wind und Wogengang erschwerte Verkehr mit dem Lande vollzieht sich in kleinen Booten.

All dies betrifft Umstände, die sich gleichsam einer Betrachtung von der Wasserseite her ergeben. Aber auch vom Lande her sind Forderungen zu stellen. Wir betonten ja oben, daß im Hafen Land- und Wasserverkehr ineinander übergehen. Und dieser Verkehr benötigt wie die Wirtschaft, der er dient, bestimmter Einrichtungen und Anlagen auf dem Lande, beide sind gebunden an eine entsprechende Siedlung und diese wieder bedarf des geeigneten Bodens für ihre Ausbreitung. Er ist nicht vorhanden, wo Gebirge bis hart an die Küste herantreten und hier muß oftmals Neuland durch künstliche Aufschüttung gewonnen werden. Die Einrichtungen eines modernen Hafens, die technisch stets aufs neue vervollkommt und ausgebaut werden müssen, beginnen mit möglichst ausgedehnten Kaimauern, an denen viele Schiffe anlegen können (der notwendige Umweg über Leichterboote, wo die Schiffe in einiger Entfernung vom Ufer vor Anker gehen müssen, verlangsamt und verteuert Löschen und Laden), gewaltige, elektrisch betriebene Krane, häufig selbst fahrbar, heben, senken und drehen Lasten bis zu 250 Tonnen, die sie an Ketten, Zangen, Hebemagneten halten. Umfassende Gleisanlagen, die zu Bahnhofsanlagen führen, haben für die schnelle Weiterbeförderung und Heranführung von Gütern zu sorgen, soweit diese nicht in zahlreichen zweckmäßig gebauten Lagerhäusern verstaut werden sollen. Wo die Verfrachtung ins Binnenland auf Flüssen oder Kanälen erfolgt, werden Zahl und Größe der einzelnen Hafenbecken beständig zunehmen. Durch eigene Sturzvorrichtungen werden Massengüter wie Kohle, Erze u. a. in den Schiffsbauch geschüttet. Und in jedem größeren Hafen muß schließlich für die Schiffe die Möglichkeit bestehen, eingetretene Schäden ausbessern lassen zu können. Doch die Forderungen von der Landseite her gehen weiter; denn der Hafen ist ja keine isolierte Stätte im menschen-, siedlungs- und wirtschaftarmen Raume, oder er darf es bloß in jenen wenigen Fällen sein, wo er als militärischer (Flotten-) Stützpunkt, als Kohlen- oder Ölstation zur Versorgung von Schiffen mit dem nötigen Betriebsstoff oder als Schnittstelle wichtiger Verkehrslinien in Frage kommt — bei letzteren berührt der Verkehr den „Durchgangs"-Hafen nur, um Güter zu sammeln oder zu verteilen, ohne aus dem Hinterlande etwas aufzunehmen oder an dieses etwas abzugeben. Meist aber ist der Hafen geradezu ein beredter Ausdruck der Eigenart seines Hinterlandes, er ist abhängig von seinem Verhältnis zu ihm. Gebirge unfern der Küste sperren den Hafen vom Hinterlande ab, Ebenen mit großen schiffbaren, vielleicht gar zu einer Mündung vereinigten Flüssen, denen auch noch Kanäle weitere Flußgebiete angliedern, schließen es enge an ihn an. Und wenn auch Bahnen die höchsten Gebirge mindestens auf Umwegen überschreiten können, so sind auch der geschicktesten Tarifpolitik schon durch die zumal gegenüber den Tieflandbahnen tatsächlich außerordentlich erhöhten Transportkosten gewisse Grenzen gezogen,

welche die natürliche und selbst die künstliche Wasserstraße nicht kennt. Einen Vorzug freilich besitzt auch der Schienenweg, den ihm die Wasserstraße nicht streitig machen kann; diese ist mit jeder Einzelheit ihrer Richtung zunächst naturgegeben, jener achtet heute kaum der natürlichen Schranken und schließt Räume ins Einzugsgebiet eines Hafens ein, die ihm mangels Wasserstraßen völlig entzogen wären. Dieses durch Wasserstraßen und Bahnen gebildete Einzugsgebiet kann sich gelegentlich nur nicht ganz auswirken, weil es von einer politischen Grenze zerstörend durchschnitten wird. Noch wichtiger aber als die genannten und andere, schließlich doch in immer größerer Vollkommenheit herstellbaren Wechselbeziehungen eines Hafens zu seinem Hinterlande ist dessen Eigenart selbst. Was frommen die besten Zuleitungswege, wenn das Hinterland wirtschaftlich wenig bedeutsam, arm an Ausfuhrerzeugnissen ist oder von einer kulturell gering entwickelten, spärlichen Bevölkerung bewohnt wird, die für eine fehlende Industrie auch keine Rohstoffe benötigt, vielleicht gar einem Staatswesen angehört, dessen innere Zerrüttung dem Handel die erforderliche Sicherheit entzieht. Ein für den Verkehr durch leistungsfähige Flüsse und Bahnen weithin aufgeschlossenes, zudem dicht besiedeltes und industriell hochentwickeltes, auch Kohle und Erze bergendes Hinterland: verbinden sich diese Momente mit guten Eigenschaften des eigentlichen Anlageplatzes (oder ist der Mensch wenigstens imstande, durch künstliche Mittel, die manchmal sogar erst die Schaffung eines Hafenbeckens, zum Beispiel durch Ausbaggerung zu bewirken haben, einen brauchbaren Anlageplatz zu bilden), dann kommt es zu jenen gigantischen Leistungen, die wir in manchen der berühmten Häfen sich vollziehen sehen.

Man hat begreiflicherweise eine Einteilung der Häfen unter den mannigfachsten Gesichtspunkten versucht und durchgeführt: nach dem geologischen und morphologischen Charakter der Küste, der sie angehören (Atoll-, Einbruchs-, Moränen-, Riashäfen u. a.), nach ihrer Benutzungsart (Handels-, Passagier-, Kriegs-, Fischerei-, Zufluchtshäfen u. a.), nach ihrer Verkehrsgeltung (Lokal-, Groß-, Welthäfen u. a.), nach ihrem Güterumsatz (Klein-, Mittel-, Groß- und Riesenverkehrshäfen) usw. Aber um mit diesen Einteilungen etwas anfangen zu können, müßte man sie bis ins einzelne verfolgen und begründen; dies zu tun aber kann hier nicht unsere Aufgabe sein. So verlassen wir die Häfen und wenden uns einem letzten Gebiet unserer verkehrsgeographischen Betrachtungen zu.

Die innige Verknüpfung der bisher behandelten Verkehrswege und Verkehrsmittel mit der Wirtschaft liegt auf der Hand. Nicht minder gilt dies von jener besonderen Art des Verkehrs, den man, da er hauptsächlich der Übermittlung mündlicher oder schriftlicher Nachrichten dient, als *Nachrichtenverkehr* zusammenfassen kann, gleichgültig, welche Übertragungsmittel er dabei in Anspruch nimmt: ob die Beförderung der Nachrichten durch Bahn, Schiff, Luftfahrzeug oder (Kraft-) Wagen erfolgt, ob elektrische Wellen die Übermittlung besorgen; von ganz einfachen, aber auf bestimmten Kulturstufen sehr häufig geübten Methoden zu schweigen, bei denen zum Beispiel (gelegentlich zu großer Reichhaltigkeit des Ausdrucks und großer Schnelligkeit der Weitergabe ausgebildete) optische und akustische Signale gebräuchlich sind; hierher gehört auch die auf internationalen Abmachungen beruhende Flaggensprache der Schiffe. Der *Postverkehr*, der vor allem Briefe (Post-

karten) und Zeitungen wie andere Drucksachen bewältigt, ist naturgemäß nicht in allen Ländern gleich, in jenen niederer Zivilisation oder in solchen, die weite Gebiete unbewohnten Landes umfassen, mindestens insofern wenig entwickelt, als die Zahl der Postanstalten eine geringe ist. Freilich gibt diese Zahl, auch in Verbindung mit der Größe der Bevölkerung, nicht immer ein zutreffendes Bild, da die stärkere Besetzung einer kleinen Bevölkerungssumme mit Postanstalten nicht auch die bessere Ausgestaltung des Postwesens dort bedeuten wird, wo die ländliche Siedlungsweise der Bevölkerung weit mehr Postanstalten erforderlich macht als die Menschenanhäufung in den Städten. Deutschland besaß 1927 31381 Postanstalten und versandte in diesem Jahre 5,5 Milliarden Briefe und Karten, Großbritannien und Nordirland verfügte zur gleichen Zeit über 21750 Anstalten, durch die 5,8 Milliarden Briefsachen liefen, Frankreich 1924 über 15698 Postanstalten mit einem Briefumsatz von 4,3 Milliarden Stück. Seit 1874 besteht der Weltpostverein, in dem heute die meisten Kulturstaaten der Erde vertreten sind; er verbürgt die gegenseitige anstandslose und möglichst schnelle Weiterbeförderung aller zugelassenen postlichen Sendungen. Eine nicht uninteressante Übersicht, da sie auch den Grad der weltwirtschaftlichen Verbundenheit mit dem (überseeischen) Auslande (Kolonien!) zeigt, ergibt sich aus der Zusammenstellung des Auslandsbriefverkehrs einiger Staaten. Der Auslandsbriefverkehr Deutschlands umfaßte (1922) 230,2 Millionen Stück, davon gingen 82,2% nach dem übrigen Europa, 14% nach Amerika, 2,5% nach Asien, 1% nach Afrika, 0,3% nach Australien. Von den 272,3 Millionen Briefen Großbritanniens gingen 49,2% nach dem übrigen Europa, 24,1% nach Amerika, 11% nach Asien, 8,8% nach Afrika und 6,9% nach Australien. Die 193,3 Millionen Stück Frankreichs wendeten sich zu 57,6% nach dem übrigen Europa, zu 21,6% nach Afrika, zu 17,4% nach Amerika, zu 2,5% nach Asien und zu 0,9% nach Australien. Von Belgiens 78,1 Millionen Briefsendungen waren 87,8% nach dem übrigen Europa, 8,1% nach Amerika, 2,6% nach Afrika, 1,2% nach Asien und 0,3% nach Australien gerichtet, von Italiens 66,8 Millionen trugen 59,6% die Adresse nach dem übrigen Europa, 29% die nach Amerika, 7,9% nach Afrika, 2,7% nach Asien und 0,8% nach Australien; und die Niederlande schickten von ihren 55,1 Millionen Briefen 81,4% nach dem übrigen Europa, 10,3% nach Asien, 6,9% nach Amerika, 1,3% nach Afrika und bloß 0,1% nach Australien.

Die Schnelligkeit der Nachrichtenübermittlung ist seit der Erfindung der elektrischen, ursprünglich an Drahtleitungen geknüpften Telegraphie (1833) und Telephonie (1863) eine unendlich größere geworden. Solche Drahtleitungen sind uns längs Straßen und Eisenbahnstrecken ein vertrautes Bild geworden, sie sind auch in sonst weniger verkehrserschlossene Gebiete (wenngleich ins Gebirge, in die Wüste oder in den Urwald nicht ohne Überwindung bedeutender Hindernisse) eingedrungen; durchzieht doch schon seit 1871 der „Überlandtelegraph" ganz Australien in nordsüdlicher Richtung. Heute beträgt die Länge der Telegraphenlinien (die Länge der Leitungen, also der Drähte selbst, ist noch viel größer, da dieselben Stationen oft durch mehrere Leitungen verbunden sind) rund 2 Millionen Kilometer; 1925 besaß Deutschland 222400 km Linien und 3537200 Millionen km Leitungen, Frankreich (mit Algerien) 224200 km Linien und 845200 km Leitungen, die Ver-

einigten Staaten von Amerika 402194 km Linien und 2,685 Millionen Leitungen, Großbritannien 177600 km Linien und 446900 km Leitungen. Dazu kommen noch die der Telegraphie über den Ozean hin dienenden, auf ihrem Boden ruhenden Kabel, deren erstes 1851 in dem Kanal zwischen Dover und Calais gelegt wurde; 1866 erfolgte die erste transatlantische Verbindung zwischen Südwestirland und Neufundland, zu Beginn des 20. Jahrhunderts erhielt auch der Stille Ozean ein Kabel zwischen den Vereinigten Staaten von Amerika und den Philippinen, ein anderes zwischen Vancouver und Australien (Brisbane). 1923 gab es über 615000 km Unterseekabel, wovon mehr als die Hälfte in den Händen Englands und seiner Kolonien war (47838 km staatliche, 264510 km private Linien). In diesen Zahlen sind aber auch die an Küstenstrecken oder in Rand- und Nebenmeeren angelegten Kabel inbegriffen; eine Beschränkung auf reine Unterseekabel würde die Vorrangstellung Großbritanniens noch schärfer ersichtlich machen, wobei England den Kabelverkehr überdies auch dadurch beherrscht, daß mehrere große Kabel anderer Länder seine Gebiete berühren, während seine eigenen bloß über britischen Boden gehen. Die Vereinigten Staaten von Amerika besaßen (1923) 146089 km submariner Kabel. Deutschland hatte vor dem Weltkriege 3 Kabel im Atlantischen Ozean gelegt (von Borkum zwei über die Azoren nach New York, eines über Teneriffa und Monrovia nach Pernambuco), von seinen 43300 km Kabellänge, die es 1913 mit 8,1% der Gesamtlänge aller Unterseekabel an die dritte Stelle hinter England und die Vereinigten Staaten von Amerika wies, mußte es auf 37000 km zu Versailles verzichten; gegenwärtig nennt Deutschland nur 3600 km staatlicher und 4427 km privater Unterseekabel sein eigen.

Auch die Drahttelephonie spielt wie die Drahttelegraphie im Nachrichtenverkehr eine bedeutende Rolle; doch ist diese zahlenmäßig schwer zu erfassen. Eine ungefähre Vorstellung erhält man aus den Angaben, daß (1925) Deutschland 2588000 (öffentliche und private) Sprechstellen besaß, Großbritannien (ohne Irland) 1390200, Frankreich 737200, Japan 619000, Schweden 417100, die Vereinigten Staaten von Amerika aber 16935900. Seit jüngster Zeit gibt es auch Fernsprechkabel, die besonders in den Vereinigten Staaten im Gebrauch sind; die beiden größten laufen von New York einerseits nach San Franzisko (5450 km), anderseits nach Key West (2510 km). In Deutschland ist u. a. Berlin über Leipzig einerseits mit Frankfurt a. M. (530 km) anderseits mit München (620 km) durch Fernsprechkabel verbunden; England besitzt die Strecke London—Bristol (200 km).

Die Entdeckung der Möglichkeit, drahtlos elektrische Wellen von bestimmten Punkten aus flächenhaft auf große Entfernungen hin zu übertragen, hat die telegraphische und telephonische Nachrichtenübermittlung nicht bloß von den durch die Drahtführung vorgezeichneten Richtungen unabhängig gemacht, sondern auch mit Stellen (fahrenden Schiffen und Luftfahrzeugen) in Verbindung treten lassen, die bisher nicht erreichbar waren. Freilich können Witterungsverhältnisse leicht Störungen mit sich bringen, ferner vermögen auch andere, als für die sie bestimmt sind, die Mitteilungen aufzunehmen. Deutschland hat sich im Kriege von Nauen aus (bei Berlin), das zwei Türme von je 260 m, sieben von je 120 bis 150 m Höhe besitzt, die 20000 km weit senden können, mit seinen afrikanischen Kolonien über Feindesland hinweg verständigen können; die Empfangsstation für diese Sende-

apparate steht in Alt-Geltow (bei Potsdam). Auch die Großstation Eilvese bei Hannover (mit einem 250 m hohen Turm) dient dem Weltverkehr (besonders mit Amerika). Die deutsche Hauptfunkstelle in Königswusterhausen bei Berlin besorgt hauptsächlich den Verkehr innerhalb Deutschlands und mit dem übrigen Europa. Im ganzen besaß Deutschland (1925) 20 Land-, 32 Küsten- und 666 auf deutschen Handelsschiffen befindliche Bordfunkstationen. 1926 wurden in Deutschland nach dem Auslande 1095500 Funktelegramme versendet. Die Gesamtzahl der drahtlosen Telegraphenstationen auf der Erde betrug Anfang 1928 2045 Land- (einschließlich Küsten-) Stationen und 15963 Bordstationen. Der Wetterdienst erfolgt in fast allen Kulturländern bereits im Funkverkehr, auch nahmen bereits 1921 20% aller zwischen Europa und Nordamerika aufgegebenen Telegramme diesen Weg.

Auch die Funk- (Radio-) Telephonie (Unterhaltungsrundfunk) ist in außerordentlichem Aufschwung begriffen und die Zahl der von den Sendern bedienten Rundfunkhörer steigt in allen Ländern von Monat zu Monat an.

* * *

Regiſter.

Abbé 252, 254
Aberration 36
Abdachungsſtaaten 595
Abraumſalze 399, 452
abſolute Maßordnung 57
abſoluter Nullpunkt 30
Abſorption 74
Abwäſſerreinigung 502
Actinium 221
Affinität 210
Affinitätskonſtante 211
Aggregatzuſtände 25, 32
Aktinium 103
Akuſtik 60, 246
Alabaſter 406
Alanin 197
Alaun 167
Albumine 198
Aldehyde 191
aliphatiſche Verbindungen 189
Alkali 159
alkaliſche Quellen 357
Alkaloide 198, 433.
Alkohole 189, 297
Alkyl 181
allochthone Flöze 383
allotrope Modifikationen 205
Almandin 407
Almhütten 601
Altſtadt 606
Aluminium 161, 285
Amalgamierverfahren 287
Amazonas 620
Amazonenſtein 405
Ameiſen 498
Ameiſenſäure 192
amerikaniſche Bahnen 626
Amethyſt 158
Amine 195
Aminogruppe 196
Aminoſäuren 197
Ammoniak 161
Ammonium 161
Ampère 51, 54
Ampèreſche Regel 52
amphoter 161
Analyſe 180
anatoliſche Bahn 624
Andrews 33
angewandte Botanik 417
— Phyſik 227
Anhydrit 405
Anilin 203
Anode 86, 172
anomale Dispersion 96
Anopheles 502
anorganiſche Verbindung 134
Antenne 262
Anthrachinon 203
Anthrazen 202
Anthrazit 273
Anthropogeographie 583
Antifebrin 204
Antipyrin 199, 204
Apatit 410
aperiodiſche Schwingung 60
Apfelblütenſtecher 480
Aquädukt 234.
Arago 53
Arbeit 15
Archimedes 27
Arco 263
Argon 217
Ariſtoteles 7, 10, 119
aromatiſche Verbindung 188, 199
Arrhenius 88, 154, 176, 329, 332
Arrowroot 296
Arſen 402
Arteſiſches Waſſer 346
Asbeſt 402
Asphalt 394
Aſpirin 203
Aſton 97, 224
Aſtrologie 331
Aßmann 241
Äthan 183, 185
Äthanal 191
Äthanol 189
Äther 190
Äthyl 181
Äthylalkohol 189
Äthyläther 190
Äthylen 187
Atmoſphäre 26
Atome 78, 120
Atomgewichte 122
Atropin 199
Atwood 8
Ätzkali 159
Ätznatron 159
Auftrieb 27
Augenſpiegel 250
Auripigment 402
Ausdehnungskoeffizient 30
Ausleſe 556
Autarkie 595
autochthone Flöze 383
Avena 419
Avogadro 131
Avogadros Geſetz 83
Azetate 192
Azetatſeide 302
Azeton 191
Azetylen 182, 187
Azetylengas 280
Azofarbſtoffe 303
azykliſche Verbindung 189

Backkohlen 273
Backpulver 297
Bäder 356
Baeyer 191, 201
Bagdadbahn 624
Bahnnetz 621
Bakterien 438
Balard 153
Balliſtik 312
Barbiturſäure 197
Bariumſulfat 168
Barometer 27
Baſen 158
Bataten 420
Bauchraſſe 541

Baumwolle 303, 421
Baustoffe 364
Bauxit 286, 403
Bayerthal 539
Bazillen 438
Bearbeitbarkeit der Gesteine 370
Becher 134
Becquerel 100, 219
Begabungsprüfungen 567
Begabungszeichen 542
Beleuchtungsstärke 36
Bell 261
Bembergseide 302
Bemiß 547
Benzaldehyd 202
Benzin 277
Benzinoform 186
Benzoesäure 202
Benzol 182, 188, 199, 277
Benzoltheorie 199
Bergius-Verfahren 277
Bergkristall 158
Bergmann 211
Berlese 515
Berlinerblau 170
Bernstein 403
Berthelot 214
Berthollet 151, 211
Bertillon 557
Berufsberatung 535
Berzelius 121, 153, 154, 171, 180, 181, 213
Beschleunigung 6
Bessemer 282
Beta 420
Betain 198
Beton 290
Beugung des Lichts 66
Bevölkerungspolitik 555
Bewässerungsanlagen 355
Bewegung 4
Bewegungsdruck 29
Bezold 241
Bibergeil 522
Bienenzucht 466
Bier 299
Bilsenkraut 434
Binnenmeerstaaten 596
Binnenstaaten 594
Binnenschiffahrt 614
Biol. Bekämpfung der Schädlinge 514
Biot 53
Biotit 406
Bisamratten 477
Biskuit 293
Bitterquellen 357
Bitumen 271
Bjerknes 241—244, 325
Black 30, 159
Blattfallkrankheit 449
Blattgold 287
Blausäure 170
Blei 285, 377
Bleiakkumulator 89
Bleiglanz 377
Blitzlicht 135
Blockbau 600
Blutegel 522
Bluterkrankheit 546
Blutgruppen 554
Blutlaugensalz 169
Bodenbakterien 439
Bohr 112, 203, 222
Bohrmuscheln 505
Bolometer 75
Boltzmann 71, 82
Borax 404
Borkenkäfer 472
Bormineralien 404
Borquellen 357
Bosch 453
Botanik, angewandte 417
Böttger 292
Boyle 119
Boyle-Mariottesches Gesetz 28, 30
Bradley 35, 36
Brandkrankheiten 443
Branly 262
Branntwein 190
Braun 262, 263
Braunkohle 271, 383
Brausepulver 157
Brechung des Lichts 38
Brechungsexponent 39
Brennpunkt 37
Brennstoffe, fossile 378
Brikett 271
Brock 104
Broglie 113
Brom 153
Bronzen 284
Brückner 329
Brunnen 344
Brustrasse 541
Buchweizen 419
Bunsen 73
Burgberg 605
Butan 181
Butter 305
Buttersäure 182
Butyl 181

Cailletet 34
Calciumkarbid 280
Calciumoxyd 139
Caliche 413
Camera obscura 35
Canabis 422
Carnot 249
Cäsar 315
Cäsium 160
Castle 549
Cattel 557
Cavendish 124
Celsius 29
Cetraria 434
Chadwick 104
Chamositerze 376
Charakterlandschaften 596
Champignon 437
Chardonnet 302
Charles 237
chemische Verwandtschaft 210
chemische Vorgänge 117
Chevreul 306
Chilesalpeter 453
Chinin 199
Chinolin 199
Chlor 150
Chloral 191
Chloralhydrat 191
Chlorbarium 168
Chlorbenzol 200
Chloride 150, 151, 168
Chlorknallgas 152
Chloroform 168, 186
Chlorwasser 153
Chlorwasserstoff 152, 156
Christiansen 96
Chrom 377
Cinchona 434
City 607
Clausius 88
Clayton 328
Clusius 427
Coffea 430
Colloredo-Mansfeld 477
Color line 547, 569
Coster 104, 219
Coulomb 43, 51, 58
Coulombsches Gesetz 44, 48
Courtois 153
Cracken 277
Cranz 313
Crookes 91
Crookesscher Dunkelraum 98
Curie 100, 219

Daguerre 255
d'Alemberts Prinzip 21
Dalton 33, 78, 120
Dampfmaschine 247
Dampfschiffahrt 629
Dampfturbine 249
Daniellscher Hahn 128
Darrmalz 298, 300
Darwin 330
Davisson 113

Davy 151, 160, 171
Defant 245, 328
Dekan 184
Demokrit 78, 120
Derivate 185
Detektor 265
Dextrin 296
Dextrose 193
Dialysator 209
Diastase 194, 213, 297
Dichlorbenzol 200
Dickson 568
Diesel 249
Diffusion 82
Dimension 5
Dimethylamin 195
Dinkel 418
Dioskorides 426
disperses System 209
Dispersion 40
Dissoziationen 205
Döbereiner 215
Döbereinersches Feuerzeug 213
Dockhäfen 635
Donau 617
Doppelbrechung 68
Doppelsalze 167
Dopplers Prinzip 74
Dörfer 603
Drahtloser Nachrichtenverkehr 639
Drehbank 232
Drehmoment 17
Dreifarbendruck 256
Dreistufensatz 583
Druck 26
Duddel 263
Dufay 42
Duff 557
Duhamel 159
Dulong-Petitsches Gesetz 84
Dumas 171, 202
Düngung 450
Dunkelfeld 255
Dyn 11
Dynamit 192
Dynamomaschine 257

Ebbe und Flut 329
Edelgase 137, 217
Edelmetalle 137
Edelsalze 401
Ehealter 550
Eheberatung 544
Eheverbote 563
einfache Maschinen 231
Einfamilienhaus 606
Einheitshaus 603
Einkorn 418
Einstein 112, 225
Einwanderungsgesetze 567
Einzelhöfe 602
Eisen 281, 376
Eisenbahnbau 359
Eisenbahnverkehr 621
Eisenocker 404
Eiserner Hut 372
Eisessig 192
Eiweißstoffe 198
Ekholm 332
Elastizitätskonstante 79
Elbe 616
elektrisches Feld 45
Elektrochemie 214
Elektroden 50, 86, 172
Elektrolyse 86, 172
Elektrolyte 50, 86, 161, 172
Elektrolytkupfer 284
elektrische Dissoziation 176
elektrolytischer Lösungsdruck 89
Elektromagnet 53
Elektromagnetismus 52
Elektron 87
Elektronleichtmetall 286
Elektroskop 43
Elektrostatik 42
Elektrotechnik 257
Elementaranalyse 180
Elementarmagnete 49
Elemente 118
Emailglas 290
Emanation 101, 220
Emmer 418
Empedokles 119
Emulsion 208
Energie 15
Engler 276
Entartung 528
Entartungszeichen 542
Entfernungsmesser 253
Enzyme 213
Erdalkalimetalle 161
Erdbebenforschung 341
Erdgas 395
Erdmetalle 161
Erdöl 144, 185, 275, 389
Erdwachs 185
Erzgänge 371
Erzlager 372
Escherich 482
Essigsäure 163, 192, 270
Ester 182, 190
Euler 312
Expreßlinien 622

Fachwerk 231
Fachwerkbau 601
Fahlbanderz 378
Fajans 105, 221
Fallmaschine 8
Familienanthropologie 553
Familienkunde 553
Farad 58
Faraday 54, 56, 69, 70, 86, 87, 95, 172, 173, 199, 257
Faradayscher Dunkelraum 98
Farbenphotographie 41, 256
Farbenzerstreuung 40
Faserpflanzen 420
Fayence 293
Fechner 106
Feddersen 69, 71
Federindustrie 520
Federwaage 9
Feinsprit 298
Feldbau 585
Feldspat 405
Fermente 213
Fernrohr 250
Fette 192, 304
Fetthärtung 305
Fettkäse 305
Fettkohlen 273
Fettsäuren 192
Feuerstein 288
Fibrin 198
Fichtenrüsselkäfer 472
Fieberrinde 434
Fingerlinien 554
Firnis 306
Fischer 193, 198
Fischereiwesen 503
Fizeau 36
Flachmoor 388
Flachs 303, 422
Flaschenzug 232
Flett 603
Fliegen 501
Fließ 333
Flintglas 290
Flöze, allochthone 383
—, autochthone 383
Flugbrand 443
Flugverkehr 613
Fluor 137, 153
Fluoreszenz 42
Flußeisen 282
Flußsäure 158
Flußspat 154, 405
Forest 263
Forleule 474
Formaldehyd 191
Formalin 191
Formiate 192
Formol 191
Forstzoologie 470
fossile Brennstoffe 378
Foucault 36
Frankland 182
Franklinsche Tafel 48

Frauenfrage 574
Fraunhofersche Linien 74
Freiballon 238
Fresnel 66, 68
Fritter 262
Frobenius 586
Fruchtäther 298
Fruchtzucker 193
Fruktose 193
Funkverkehr 640
Fürst 558
Fuselöle 190, 298

Galaktose 193
Galilei 4, 6, 7, 10, 24, 251, 312
Gallerte 210
Galmei 285, 377
Galton 546
Galvani 49, 171
Galvanische Elemente 49
Galvanometer 52
Gartenbau 584
Gartenblumen 426
Gasdruck 28
Gaskraftmaschine 249
Gasöl 277
Gassendorf 604
Gasturbine 249
Gauß 260, 312
Gay-Lussac 131
Gay-Lussacs Gesetz 30
Geber 154, 159
gedämpfte Schwingung 59
Gegenauslese 531
Gehöfte 603
Gel 209
Gelbguß 284
Genealogie 553
Generatorgas 279
Genetik 527
Genußmittel 429
geol. Karten 337, 369
— Landesanstalten 337, 339
Geopolitik 599
geothermische Tiefenstufe 356
Germer 113
Gerste 418, 419
Geschwindigkeit 5
Gesner 427
Gespinstpflanzen 420
Getreide 417
Gewanne 604
Gewicht 9
Gewürze 432
Gewürznelken 433
Gichtgase 281
Giftpflanzen 433
Gilbert 42
Gilchrist 282
Gips 164, 405
Gitterspektren 67
Glas 288
Glauber 155
Glaubersalz 163, 167
gleichförmige Bewegung 4
Gleichgewicht 19
Gleichgewichtskonstante 212
Gleichstrommaschine 259
Glimmer 406
Globuline 198
Glukose 193
Glykokoll 197
Glyzerin 192, 306
Glyzin 197
Gockel 331
Goddard 313
Gold 287, 373
Goldstein 97
Gossypium 421
Gräbe 202
Gradierwerk 397
Graebner 541
Graham 208
Grammolekül 133
Granat 407
Graphit 407
Gravitationsgesetz 22
Grenzen 596
Größentypen der Siedlungen 602
Großmächte 594
Grotjahn 562
Grotthus 88, 225
Grubengas 185
Grudekoks 272
Grundstoffe 118
Grundwasser 345
Grundwasserkarten 369
Grundwassersenkungsgebiet 350
Guanovogel 518
Guericke 28, 42, 43, 47
Guldberg 211
Günther 537, 575
Gußeisen 282
Güterverkehr 617

Haber 453
Hackbau 584
Häfen 635
Hafenstädte 605
Hafer 419
Hafnium 104, 219
Halbinselstaaten 596
Halbkulturvölker 585
Hallwachs 93
Halogene 153
Hammer 232
Handelsstädte 606
Hanf 422
Hansen 440
Hartblei 285
Hartbrand 443
Hartnacke 557
Harnsäure 197
Harnstoff 197
Haschisch 423
Haufendorf 604
Haushofer 599
Haustierzoologie 464
Haworth 193
Hebelsatz 17
Hefepilze 440
Hefner-Alteneck 258, 259
Heilpflanzen 433
Heilquellen 356
Heisenberg 113
heiße Quellen 356
Heizstoffe 269
Helium 217, 220
Hellpach 331
Helmholtz 16, 31, 62, 63, 65, 71, 78, 96, 108, 241, 243, 250
Helmont, von 124, 154
Henry 59
Hergesell 241
Héroult 285
Herschel 75
Hertz 71, 72, 92, 93
Hertzsche Wellen 261
heterozyklische Verbindungen 189
Hettner 585
Heuwurm 485
Hevesy, von 104, 219
Hexadekan 185
Hexadien 187
Hexan 184
Hexakontan 183
Hexatrien 187
Hexen 187
Hexenring 436
Hexosen 193
Hildebrandt 530
Hirse 419
Hirtennomadismus 584
Hittorf 88, 91, 176
Hochmoor 389
Hochofen 281
Hoff, van't 176, 184, 211, 330
Hoffmannstropfen 190
Hofmann 195, 199
Holz 270
Holzessig 192, 270
Holzgas 271
Holzgeist 189
Holzkohle 270
Holzschliff 301
Holzschutz 425
Holzschwamm 424
Holzteer 270
Homer 434

homologe Reihen 185
Honigschmidt 222
Hordeum 419
Horststaaten 596
Howard 499
Hudson 620
Hüttenbau 600
Hüttenkunde 280
Hughes 261
Huygens 63, 66
Hydratisierung 207
hydraulischer Mörtel 290
hydraulische Presse 26
Hydrogenium 124
Hydrolyse 170
Hydroxyd 160
Hydroxyl 160
Hyoszyamin 199

Imprägnationslagerstätten 371
Indanthren 203, 303
Indikatoren 155
Induktionsströme 54
Induktorium 56
Influenz 43
Influenzmaschine 47
Ingwer 432
Inkohlung 271, 378
Innere Reibung 83
Inselstaaten 596
Interferenz 64, 65
Intze 235
Inzucht 549
Isländisches Moos 434
Isomere 181
Isomerie 180
Isopentan 183
Isopropylalkohol 190
Isotope 98, 222
Isozyklische Verbindung 189

Jägertum 584
Jatrochemie 155
Jod 149, 153
Jolly 23
Jonen 86, 88, 173, 176
Jonium 221
Joule 31
Joulesches Gesetz 51
juveniles Wasser 356
Jute 423

Kabel 639
Kaffee 430
Kaffein 197
Kaiserkanal 618
Kaiseröl 276
Kakao 430
Kalender 313
Kali 159
Kalisalze 399
Kalium 160
Kalkmilch 139
Kalkstein 138, 408
Kalkstickstoff 280
Kalmengürtel 324
Kalorie 30
kalte Flammen 143
Kältemaschine 34, 250
Kalziumkarbid 187
Kalziumsulfat 164
Kamerlingh-Onnes 34, 94
Kanadische Bahnen 626
Kanäle 615, 632
Kanalisation 352
Kaninchen 478
Kant 529
Kaolin 291, 409
Kapazität 47
Kapern 433
Kap-Kairo-Bahn 625
Kapok 421
Karbolsäure 203
Karbonsäure 192
Karlsbader Sprudel 357
Karnallit 167
Karnolit 378
Kartoffel 419
Kartoffelkäfer 489
Kartoffelkrebs 444
Kasein 198
Katalysator 213
Katalyse 127, 213
Kathode 86, 172
Kathodenstrahlen 90, 263
Kauffmann 201
Kaufmann 91
Kautschuk 188
Kekulé 182, 199, 201
Kepler 250
Keplersche Sätze 22
Keratin 198
Kern 541
Kerzen 307
Ketone 191
Khaprakäfer 495
Kieselgur 409
Kieslagerstätten 377
Kilowatt 51
Kinderzahl 552
Kinetische Gastheorie 81
King 549
Kippscher Apparat 125, 140
Kirchhoff 73, 74
Kjellen 598
Klangfarbe 62
Klaproth 159
Kleiderläuse 500
Kleidermotte 496
Kleister 296
Kleistsche Flasche 48
Klemm 541
Klostergärten 427
Kluftwasser 348
Knallgas 126, 128
Knallgebläse 128
Knorpelkohle 271
Knottenerz 377
Kochsalz 152
Kohärer 262
Kohäsion 80
Kohlehydrate 193, 294
Kohlenbecken, paralische 380
—, limnische 380
Kohlendioxyd 138
Kohleneisenstein 376
Kohlenoxyd 141
Kohlenstoff 137
Kohlenwasserstoffe 144, 185
Kohleule 486
Kohlrausch 58, 88
Kohlweißling 486
Kolbe 181
Kollodiumwolle 194
Kolloidchemie 208
Koloradokäfer 489
Kolm 378
Kokain 199
Kokosfaser 423
Koks 273, 274
Kolumbus 629
Kombination 455
Kompaß 629
komplexe Jonen 179
Komplexsalze 170
Kondensator 48
Königswasser 157
Koniin 199, 434
konstante Proportionen 120
Kontaktsubstanz 213
Köppen 317, 327, 328
Koppers 587
Korallen 522
Kornbranntwein 298
Kornkäfer 491
Körperfarben 41
körperliche Erziehung 572
Korund 410
Koschenille 522
Kossel 224
Kraepelin 543
Kraft 7
Kraftlehre 17
Kraftlinien 45
Kraftwagen 613
Kramer 557
Krause 584
Krebs 610
Krebszucht 505
Kreide 408

Kreisel 233
Kreiselkompaß 233
Kreosot 270
Kretschmer 539
Kriegsgeologie 368
Kriminalanthropologie 555
Kristallwasser 167
kritische Temperatur 33
Kronglas 290
Krueger 63
Kryolit 403
Kulturkreislehre 586
Kulturpflanzen 417
Kulturvölker 585
Kundt 86
Kunstblätter 305
Kunstdünger 452
Kunsthonig 194
Kunstseiden 194, 302, 421
Küpe 303
Kupfer 283, 375
Kupferkies 283, 378
Kupferseide 302
Kupfervitriol 167
Kurare 434

Lackbenzin 276
Lackmus 155
Lamprecht 334
Lancheſter 240
Landesanſtalten, Geol. 337, 339
Landolt 118
Landwirtſch. Schädlinge 476
Lanolin 308
La Plata 620
Laue 77
Laurent 171, 202
Lautſprecher 247, 266
Lavoiſier 124, 126, 135, 136, 180
Lävuloſe 193
Le Bel 184, 196
Lebertran 305
Le Blanc 90
Lederbeerenkrankheit 449
Legumin 198
Leichtbenzin 276
Lein 422
Leinöl 305
Leitfähigkeit 42
Lénard 92, 93, 97, 103
Lenzſches Geſetz 55
Letternmetall 285
Leuchtgas 278
Leydener Flaſche 48
Lezithin 198
Libavius 155
Libration 323
Lichtenecker's logarithmiſches Miſchungsgeſetz 94
Lichtmeßkunde 36
Lichtquanten 112
Lichtſtrahlen 34
Lichtwellen 63
Liebermann 202
Liebesehe 549
Liebig 163, 191, 199
Liganden 183
Lignit 385
Ligroin 276
Lilie 426
Lilienthal 241
Liliusſche Oſterregel 316
limniſche Kohlenbecken 380
Linde 34
Linoxin 306
Linſen 39
Lorentz 95
Löſchkalk 139
Loſchmidtſche Zahl 85, 86, 132
Löſungen 207
Ludwigskanal 615
Luftdruck 27
Luftfahrt 237
Luftſchiffe 239
Luftſchifflinien 614
Lumière 256
Lymantria 475

Magerkäſe 305
magmatiſche Ausſcheidungen 371
Magnalium 286
Magneſit 410
Magnetismus 48
Magnetkies 378
Maikäfer 473
Mais 418
Maiſche 298
Maisſtärke 296
Maiszünsler 488
Majolika 293
Malaria 499, 502
Malonſäure 197
Malophagus 465
Maltoſe 194, 297
Malus 67
Malz 297
Mangan 376
Manilahanf 423
Manna 517
Mannoſe 193
Mansfield 199
Marconi 261
Margarine 305
Marggraf 294, 420
Marmor 409
Marſchendörfer 604
Marx 76
Maſſe 9
Maſſenwirkungsgeſetz 211
Maull 597
Maxwell 41, 58, 70, 71, 82, 95
Mayer 31
Mechanik 17
medizin. Zoologie 499
Meer als Verkehrsmittel 628
Meerſchaum 410
Mehlmotte 491, 492
Meiler 270
Meißner 265
Melaſſe 295
Mendel 465, 534
Mendelejeff 98, 216
Mergel 340
Merulius 424
Meſothorium 221
Meſſing 284
Meſſingkäfer 497
Metalle 280
metalliſche Leitung 93
Metallurgie 280
Metamerie 182
Metaſomatoſe 372
Meta-Verbindungen 201
Meteorologie 241
Methan 185
Methanal 191
Methanol 189
Methyl 181
Methylalkohol 181, 189, 270
Methylamin 195
Meton 315
mexikan. Bahnen 627
Meyer, Lothar 98, 216
Meyer, St. 102
Micellen 209
Michelſon 84
Mikrofarad 58
Mikrophon 261
Mikroſkop 253
Milankowitſch 326, 327
Milben 501
Milchſäure 184, 193
Miller, von 259
Mineralgänge 371
Mineralquellen 357
Mineralſpiritus 298
Minette 376
Miſchehe 547
Miſchgas 279
Miſſiſſippi 620
Mitſcherlich 199
Mittellandkanal 615
Möbius 76
Modifikationen 454
Mohn 431
Moiſſan 154
Mol 133
Molekulargewicht 131, 133
Molekularkräfte 79

Molekularphysik 78
Molekularwärme 84
Moleküle 131
Mondkalender 314
Mondstein 405
Monsune 325
Montgolfier 237
Moos, isländisches 434
Morel 542
Morgan 542
Morphin 434
Morse 260
Mörtel 290, 368
Moseley 104, 218
Most 300
Mühlenräder 236
Müller 551
multiple Proportionen 121
Muskovit 406
Mutationen 454

Nachhall 246
Nachrichtenverkehr 637
Nägeli 209
Naphtha 276
Naphthalin 202
Naphthene 187
Narkotin 199
Nation 594
Nationalitätenstaaten 594
Nationalstaaten 594
Natrium 160
Natriumchlorid 152
Natriumsulfat 163
Natron 159
Naturvölker 585
Nernst 89
Nesselfaser 423
Neusilber 287
Neustadt 606
Neutralisation 162
Newton 7, 9, 16, 22, 41, 63, 65, 66
Nickel 376
Nickelstahl 283
Nicotiana 431
niedere Pilze 438
Niederlande 617
Nikol 69
Nikotin 199
Nitrate 162
Nitroglyzerin 192
Nitrozellulose 194, 302
Nobel 192
Noddack 104
Nonne 475
nordische Rasse 575
Nordostseekanal 634
Nugget 374
Nutzhölzer 423
Nützlinge 461
Nutzpflanzen 417

Oberflächenspannung 80
Oberth 313
Obertöne 61
Oder 617
Oersted 52, 53, 54, 107
Ohm 50
Ohmsches Gesetz 51
Oktan 186
Okular 252
Öle 192
Olefine 187
Ölfarben 306
Ölkuchen 304
Ölsäure 192, 304
Ölschiefer 390
Onyxmarmor 408
Opernglaser 251
Opium 431
optische Attinität 184
organische Verbindungen 180
Ortho-Verbindungen 201
Ortsisomerie 190
Oryza 418
Ostwald 209
Oszillator 71
Otiorhynchus 472
Otto 249
Oxalsäure 193
Oxyd 135
Oxydation 142
Oxydationsmittel 146
Oxygenium 127
Oxysäuren 193

Paderquellen 346
Palmin 304
Palmitinsäure 192, 304
Palolo 517
Paloloproblem 332
Panamakanal 633
Panamastroh 423
Panicum 419
Panotis 474
Papaver 431
Papaverin 199
Papier 301, 302
Paprika 433
Paracelsus 190
Paraffine 185, 271
paralische Kohlenbecken 380
Parallelogramm d. Kräfte 13
Para-Verbindungen 201
Passarge 586
Pasteur 440
Patina 143, 284
Paulsen 263
Pazifikbahnen 621
Pechblende 219
Pechkohle 385
Peddigrohr 423
Pelzmotte 496
Pelztierfarmen 519
Penck 326
Pendel 23
Pentan 183
Pentosen 193
Pepsin 198
Perenospora 448
Pergamentpapier 302
Perhydrol 148
periodisches System 215
Perkin 199
Perlen 520
Permutit 293, 343
Perpetuum mobile 32
Petroleum 275
Petroleumäther 276
Pfahlbauten 600
Pfeffer 433
Pflanzenernährung 450
Pflanzenkrankheiten 438
Pflanzenpathologie 442
Pflanzenschutz 442
Pflanzenzüchtung 453
Pflugbau 585
Phenazetin 204
Phenol 203
Phenyl 202
Phlogistontheorie 134
Phosphat 411
Phosphor 135, 142, 206
Phosphoreszenz 42, 96
Photochemie 152, 225
photochemisches Äquivalenzgesetz 225
Photographie 255
photographische Platte 97
Photometrie 36
Phthalsäure 202
Piassavafasern 423
Pilgrim 326
Pilze 435
Pilzvergiftung 437
Pinen 188
Piperidin 199
Piperin 199
Pixii 257
Planck 111
Plasmodium 502
Platin 288, 374
Plejade 222
Ploetz 577
Plücker 90
Polarisation 68
Polonium 219
Polstorff 451

Polymere 182
Polypeptide 198
Porro 252
Portlandzement 291
Porzellan 292
Porzellanerde 291, 409
Postverkehr 637
Potential 46
Pottasche 270
Priestley 124
Prinzing 562
Prismenfernrohr 252
Propan 185
Propyl 181
Proteine 198
Proton 223
Psychotechnik 535
Ptolemäus 311
Pülpe 296
Purin 197
Puzzolan 291
Pyramidon 199
Pyridin 199
Pyrolusite 377
Pyrop 407

Quantentheorie 111
Quarz 158, 412
Quecksilber 374
Quellen 345

Radikal 161
Radikaltheorie 181
Radio 640
Radium 100, 219, 378
Radiumquellen 357
Raketenproblem 313
Ramsay 101, 220
Randstaaten 594
Raoul-Pictet 34
Raoult 176
Raphiabast 423
Rasse, nordische 575
Rassenhygiene 528
Rassenkunde 527
Ratten 496
Raumgitter 206
Reagenzien 157
Realgar 402
Reduktion 146
Reede 636
Registertonne 629
Reibungselektrisiermaschine 47
Reichenbach 271
Reihendorf 604
Reis 261, 329, 418
Reiskäfer 492
Reisstärke 296
Resonanz 61
Rhein 617
Richardson 242
Richmann 30
Rickert 529
Riegger 247
Riesling 432
Righi 262
Ritter 76
Roggen 418
Rohbenzin 276
Rohr 423
Rohrzucker 194
Rolle 231
Römer 35
Röntgen 219
Röntgenstrahlen 76, 99
Röse 539
Rose 426
Rost 143
Roßbreiten 325
Rotang 423
Roteisen 376
Rotguß 284
Rouelle 154
Rowland 67
Rubens 75
Rubin 410
Rundling 604
Rupp 113
Rutherford 93, 101, 103, 104, 220, 222, 224

Saatbeize 444
Sacharin 202
Sacharose 194
Sacharum 420
Sago 296
Saké 418
Salinen 398
Salizylsäure 203
Salmiak 161
Salonöl 276
Salpeter 412
Salpetersäure 157
Salze 154, 397
Salzsäure 152
Sammlertum 584
Sandfloh 500
Sansevierafaser 423
Saphir 410
Sassolin 404
Säuerlinge 357
Sauerstoff 126
Sauerwurm 485
Saumverkehr 612
Säuren 154
Säurerest 166
Savart 53
Schädlinge 461, 476
Schädlingsbekämpfung 505
Schaflausfliege 465
Schall 60
Schamotte 291
Schaumweine 300
Scheele 124, 126, 151, 192
Scheideschlamm 295
Scheidewasser 157
Scheidt 530
Schießbaumwolle 194, 302
Schiffahrtsgesellschaften 631
schlagende Wetter 273
Schlafkrankheit 501
Schlammvulkane 396
Schlempe 295, 298
Schlick 233
Schlittenverkehr 613
Schmalz 304
Schmetterlinge 474
Schmidt 244, 248, 541, 587
Schmieröle 277
Schmierseife 306
Schmirgel 410
Schnellot 284
Schokolade 431
Schopenhauer 580
Schornstein 234
Schott 254
Schreibkreide 408
Schrödinger 113
Schumann 76
Schwammspinner 482
Schwarzschild 312
Schwebung 63
Schweelkohle 385
Schwefel 136
Schwefeldioxyd 147
Schwefelkies 378
Schwefelsäure 148, 155
schweflige Säure 148
Schweidler 102
Schwellenstaaten 595
Schwerbenzin 276
Schwerpunkt 18
Schwerspat 414
Schwingungen 59
Searle 317
Secale 418
Seebeck 95
Seeschiffahrt 629
Segelschiffahrt 629
Sehnervverödung 546
Seide 302
Seidenraupen 468
Seifen 192, 306, 372
Seifenpulver 307
Seilmaschinen 232
Sellmayer 96
seltene Erden 218
Sensibilisator 256
Septarienton 385
Serpentin 402

Siebenerperiode 334
Siedentopf 209, 255
Siedlungen 599
Siedetemperatur 33
Siedlungsdichte 609
Siemens 257
Siemens-Martin-Verfahren 283
Siemensſche Einheit 58
Sikative 306
Silber 286, 375
Silberfuchs 469
Silberfuchsfarmen 520
Silbernitrat 168
Silikate 158, 288
Silizium 288
Siliziumdioxyd 158
Simon 263
Siſalhanf 423
Smith 583
Snellius 38
Soddy 101, 105, 220, 221
v. Soemmering 260
Sol 209
Solanum 419
Solenoid 53
Solquellen 357, 397
Solvatiſierung 207
Sonnenkalender 315
Soſigenes 315
ſoziale Ausleſe 572
— Fürſorge 561
Spaltpilze 438
ſpaniſche Fliege 522
Spannung, elektriſche 50
Speiſepilze 435
Spektralanalyſe 73
Spektrum 40
Spelz 418
Spengler 587
ſpezifiſches Gewicht 26
Sphäroſiderite 376
Spiegelbilder 37
Spinnmaſchinen 232
Spiritus 190
Springquellen 356
Spritzer 391
Sproßpilze 440
Stadt 604
Stadtplan 606
Stahl 134
Stahl 283
Standfeſtigkeit der Geſteine 370
Stanniol 284
Stark 201
Stärke 194, 296
Starkeffekt 95
Starkſtromtechnik 257
Stauquellen 346
Stearinkerzen 308
Stearinſäure 192, 304
Stechapfel 434
ſtehende Wellen 60
Steinbrand 443
Steinbrüche 364
Steingut 293
Steinheil 260
Steinkohle 273, 379
Steinſalz 150, 152, 397
Steinzeug 293
Steriliſierung 561
Stereoiſomerie 184
Stickoxyd 150
Stiefelluftpumpe 28
Straß 290
Straßendorf 604
Straßenverkehr 613
Straußenfarmen 520
Straußenzucht 469
Strukturformeln 182
Strychnin 199
ſüdamerikaniſche Bahnen 627
Sueß 356
Suezkanal 632
Sulfate 162
Sulfitlauge 301
Supan 593
Suspenſion 208
Superphosphat 412
Syntheſe 180

Tabak 431
Tachenius 154
Tacke 104
Tagebau 372
Talg 304
Talk 414
Talſperre 235
Talſperrenbau 354
Tangentenbuſſole 52
Taubſtummheit 547
Tee 430
Teein 197
Telegonie 548
Telegraphie 260, 638
Telemeter 253
Telephon 261
Telephonie 638
Temperatur 29
Terman 557, 559
Terpen 188
Terpentinöl 270
Terrakotta 293
Terreſtriſches Fernrohr 252
Territorialſtaaten 594
Tertiärpentan 183
Tetrachlorkohlenſtoff 186
Thales 42, 48
Theobromin 197, 430
Theophraſt 426
Thermit 286
Thermochemie 214
Thermoelektrizität 94
Thermometer 29
Thermoelement 75
Thomas 282
Thomasmehl 453
Thomſon 91, 93, 113, 260
Thorium 221
Tiefbau 373
Tierhaltung 464
Tierzucht 464
Tinkal 404
Toilettenſeifen 306
Tollkirſche 434
Toluol 202
Tombak 284
Tonwaren 291
Töpfergeſchirr 293
Torf 271, 388
Torricelli 27
Trägheitsmoment 24
Trajektlinien 622
Tran 304
transandine Bahn 621
transafrikaniſche Bahn 625
Transformator 57, 259
transkaſpiſche Bahn 624
transſibiriſche Bahn 621
Traß 291
Traube 256
Traubenzucker 193, 296
Trimethylamin 195
Trimethylkarbinol 190
Trinkwaſſer 342
trocknende Öle 305
Trouvelot 482
Trümmerlagerſtätten 372
Trypſin 198
Tſchirnhauſen 292
Tſetſefliege 501
Tunnelbau 362
Turbine 236
Turbodynamo 250
Twitſchell 307
Tycho Brahe 22
Tyndaleffekt 209

Ultraleitfähigkeit 94
Ultramarin 293
Ultramikroſkop 209, 255
ultrarote Wellen 75
ultraviolette Wellen 76
Unfruchtbarmachung 561
ungedämpfte Schwingung 59
Unterwaſſerquellen 349
Uran 221
Uran-Pecherz 378
Urteer 277
Uvachromie 256

Vadoses Wasser 356
Valenz 175
Valenzlehre 182
van Helmont 124, 154
Vanille 433
van't Hoff 176, 184, 211
Variationen 454
Vasco da Gama 629
Vaucluse 345
Verbindungen 118
Verbrennungen 134
Verdrängungslagerstätte 372
Verguin 204
Verjudung 548
Verkehr 612
Verkehrslagen 605
Verkehrswert der Meere 631
Verkohlung 378
Verneuil 290
Vernunftehe 549
Veronal 197
Versehen 552
Verseifung 191
Verwandtenehe 546
Vierstufenbau 584
Viskoseseide 302
Vitis 431
Vogel 595
Vogelschutz 471
Volk 594
Volksdichte 609
Volt 51
Volta 49, 171
Voltasche Säule 50
von Hevesy 219
von Lieben 263
von Soemmering 260
Vororte 606
Vulkanismus 341

Waage 211
Wachskerzen 308
Wachskohle 385
Wagenverkehr 613
Waldhufendörfer 604
Wärmeenergie 31
Wärmekapazität 31
Wärmelehre 29
Wärmemenge 30
Wärmetönung 214
Waschpulver 307
Wasser 128
Wasser, artesisches 346
Wasserbeseitigung 349
Wassergas 142, 279
Wasserhygiene 502
Wassermörtel 290
Wasserstoff 123
Wasserstoffperoxyd 148
Wasserturm 234
Wasserverkehr 614
Wasserversorgung 342
Wasserzersetzung 130
Watt 51, 249
Weber 58, 260
Wege 612
Wegener 325, 326, 327
Weickmann 245
Weiler 603
Wein 300
Weinsäure 193
Weinstock 431
Weißblech 284
Weizen 418
Welthäfen 634
Weltmächte 594
Weltpostverein 638
Wertigkeit 164
Wetterkunde 241
Wheatstone 69
Wickelhans 175
Wiegmann 451
Wien 97
Wiensches Verschiebungsgesetz 73
Wilde 257
Wildschaden 471
Wilson 103
Windmühle 237
Wirbelstürme 325
Wirtschaftsformen 584
Wöhler 180, 285
Wohndichte 607
Wolframstahl 283
Wolga 616
Wolkenkratzer 607
Wolle 302
Wollfett 308
Woods 539
Wright 241
Würze 300

Xanthin 197

Zea 418
Zeemaneffekt 95
Zeiß 254
Zelluloid 194, 302
Zellulose 194, 301
Zeltbau 600
Zement 290, 368
Zementationszone 372
Zentralkraft 22
Zentrifuge 237
Zeppelin 239
Ziegelbau 601
Ziegelsteine 293
Zierpflanzen 426
Zimmermann 511
Zimt 433
Zingiber 432
Zink 285, 377
Zinkblende 377
Zinn 284, 375
Zinnpest 285
Zitronensäure 193
Zsigmondy 209, 255
Zucker 193, 294
Zuckerrohr 420
Zuckerrübe 420
Zwecklandschaften 596
Zweikindersystem 552
Zyan 170
Zyanidlaugerei 286, 287
Zyankalium 170
Zyklohexan 186
Zykloparaffine 186
Zyklopentan 186

LITERATUR

AUS DEM VERLAG WALTER DE GRUYTER & CO. / BERLIN W 10, GENTHINER STR. 38

Juni *1931*

Natur und Mensch. Die Naturwissenschaften und ihre Anwendungen. Herausgegeben von Dr. C. W. Schmidt. Vier Bände. Lexikon-Oktav.
Band I: Weltraum und Erde. Von Dr. H. H. Kritzinger und Dr. C. W. Schmidt. Mit 409 Abbildungen und 30 zum Teil farbigen Tafeln. XII, 494 Seiten. 1926.
In Leinen RM. 32.—, in Halbleder 36.—
Band II: Das Leben und seine Entwicklung. Von Prof. Dr. C. Schäffer, Prof. Dr. W. Gothan und Prof. Dr. Freiherr E. Stromer von Reichenbach. Mit 352 Abbildungen im Text und 28 teils farbigen Tafeln. XI, 563 Seiten. 1926.
In Leinen RM. 32.—, in Halbleder 36.—
Band III: Der Mensch und seine Entwicklung. Von Prof. Dr. G. Kraitschek und Dr. F. Cappeller. Mit 243 Abbildungen im Text und 24 teils farbigen Tafeln. XI, 422 Seiten. 1929. In Leinen RM. 32.—, in Halbleder 36.—
Band IV: Angewandte Naturwissenschaften.

Geschichte der Erde und des Lebens. Von Prof. Dr. Johannes Walther. Royal-Oktav. IV, 571 Seiten. 1908. RM. 14.—, geb. 16.—
In glänzender, leichtverständlicher Darstellungsweise wird hier ein Abriß der Erdgeschichte gegeben unter Beifügung zahlreicher vorzüglicher Abbildungen. Der Verfasser steht auch hier auf dem modernsten Boden seines schnell wachsenden Fachs. Es wird hier der beste Überblick über den gegenwärtigen Stand der gesamten Geologie geboten.

Natürliche Schöpfungsgeschichte. Gemeinverständliche wissenschaftliche Vorträge über die Entwicklungslehre. Von Ernst Haeckel. Volksausgabe. Mit dem Porträt des Verfassers und mit 30 Tafeln, sowie zahlreichen Holzschnitten, Stammbäumen und system. Tabellen. Groß-Oktav. XLVIII, 652 Seiten. 1926. RM. 5.—, kart. 6.—, in Leinen 7.—
Das Werk, das weit über die Grenzen des engen Kreises der Naturforscher hinaus das tiefste und nachhaltigste Interesse erregt hat, gehört bekanntlich zu den Klassikern unserer naturwissenschaftlichen Literatur.

Lehrbuch der Chemie. Zu eigenem Studium und zum Gebrauch bei Vorlesungen. Von Max Trautz, o. Professor und Direktor des Physikalisch-Chemischen Instituts an der Universität Heidelberg. Drei Bände. Groß-Oktav.
I. Band: Stoffe. Mit zahlreichen Abbildungen im Text und mit Tafeln und Tabellen. XXVIII, 534 Seiten. 1922. RM. 16.—, geb. 17.50
II. Band: Zustände. Mit zahlreichen Abbildungen im Text und auf Tafeln und mit Tabellen. XXXIV, 634 Seiten. 1922. Rm. 20.—, geb. 22.—
III. (Schluß-) Band: Umwandlungen. Mit zahlreichen Abbildungen im Text und auf Tafeln und mit Tabellen. XLVI, 1054 Seiten. 1924. RM. 40.—, geb. 42.50
I.—III. Band in Ganzleinen (nur kompl.) RM. 84.—
Für den Studenten gegen Ausweis RM. 60.—
Dieses Lehrbuch umfaßt nicht nur die Haupttatsachen der theoretischen und angewandten Chemie, es berücksichtigt auch die Nachbargebiete, wie Physik, Mathematik, Heilkunde und Technik.

Lehrbuch der anorganischen Chemie für Studierende an Universitäten und technischen Hochschulen. Von A. F. Holleman, LL. D., D. Sc., F. R. S. E., Vizepräsident der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Amsterdam. Mit 72 Figuren und einer Spektraltafel. Zwanzigste, verbesserte Auflage, bearbeitet von Dr. E. H. Büchner. Oktav. XII, 491 Seiten. 1930. Geb. RM. 20.—

Lehrbuch der organischen Chemie für Studierende an Universitäten und technischen Hochschulen. Von A. F. Holleman, LL. D., D. Sc., F. R. S. E., Vizepräsident der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Amsterdam. Mit 65 Figuren. Neunzehnte, umgearbeitete und vermehrte Auflage, herausgegeben von Fr. Richter. Oktav. X, 536 Seiten 1930. Geb. RM. 20.—

Die Physik. Von Dr. Leo Graetz, o. ö. Professor der Physik an der Universität München. Mit 395 teils farb. Abbildungen im Text und 12 farb. und schwarzen Tafeln. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Royal-Oktav. XXII, 582 Seiten. 1923. RM. 10.—, geb. 12.50.
Das Werk ist kein Lehrbuch der Physik im gewöhnlichen Sinne. In erzählendem Stil gibt der Verfasser eine zusammenhängende Darstellung physikalischer Vorgänge und Gesetze, ohne von der mathematischen Formelsprache Gebrauch zu machen.

Einführung in die theoretische Physik, mit besonderer Berücksichtigung ihrer modernen Probleme. Von Dr. phil. Arthur Haas, a. o. Professor an der Universität Wien.
I. Band. Fünfte und sechste, völlig umgearbeitete und vermehrte Auflage. Mit 67 Abbildungen im Text. Groß-Oktav. X, 396 Seiten. 1930. RM. 15.—, geb. 16.50
II. Band. Fünfte und sechste, völlig umgearbeitete und vermehrte Auflage. Mit 85 Abbildungen im Text und auf sechs Tafeln. Groß-Oktav. VIII, 448 Seiten. 1930.
RM. 17.—, geb. 18.50
„Der Vorzug des Buches liegt zweifellos in dem Umstande, daß es dem Verfasser gelingt, den Leser unter Vermeidung jedes überflüssigen Wissensballastes bis an die Probleme der modernen theoretisch-physikalischen Forschung heranzuführen. Es gibt gewiß kein anderes Buch ähnlichen Umfanges, das den Studierenden gleichzeitig mit den Elementen der theoretischen Physik und mit den wichtigsten modernen Forschungsergebnissen, wie Röntgenspektroskopie, Kristallanalyse, Isotopenbestimmung usw., vertraut macht.“
Monatshefte für Mathematik u. Physik.

Das Naturbild der neuen Physik. Von Dr. phil. Arthur Haas, a. o. Professor an der Universität Wien. Zweite Auflage. Mit 6 Figuren im Text. Oktav. V, 160 Seiten. 1924. RM. 5.—, geb. 6.—

Inhalt: Elektromagnetische Theorie des Lichtes. Molekularstatistik, Elektronentheorie. Quantentheorie. Theorie der Grundstoffe. Relativitätstheorie. Physik der Sterne. Weltall.

Atomtheorie. Von Dr. phil. Arthur Haas, Professor für Physik an der Universität in Wien. Mit 64 Figuren im Text und auf 4 Tafeln. Zweite, völlig umgearbeitete und wesentlich vermehrte Auflage. Groß-Oktav. VIII, 258 Seiten. 1929. RM. 10.—, geb. 11.50

Inhalt: Elektronen, Atome und Lichtquanten. Die Grundlagen der Atommechanik. Die Spektren der Atome. Die Röntgenstrahlen. Die Atomkerne. Die Molekeln. Wechselwirkung zwischen Licht und Materie.

Die Welt der Atome. Zehn gemeinverständliche Vorträge. Von Arthur Haas, Dr. phil. a. o. Professor für Physik an der Universität Wien. Mit 37 Figuren im Text und auf 3 Tafeln. Oktav. XII, 130 Seiten. 1926. RM. 4.80, geb. 6.—

Inhalt: Materie und Elektrizität. Die Bausteine der Atome. Die Quanten des Lichtes. Spektren und Energiestufen. Das Wasserstoffatom. Die Grundstoffe. Das Atom als Planetensystem. Die Molekeln. Die Radioaktivität. Die Umwandlungen der Grundstoffe.

Geologie. Von Dr. Edgar Daqué, Konservator an der Staatssammlung in München.

Teil I: Allgemeine Geologie. Mit 73 Figuren. 3., verbesserte Auflage. 128 Seiten. 1927. (Sammlung Göschen Bd. 13.) Geb. RM. 1.80

Teil II: Stratigraphie. Mit 56 Abbildungen und 7 Tafeln. Neudruck. 135 Seiten. 1924. (Sammlung Göschen Bd. 846.) Geb. RM. 1.80

Wörterbuch der Geologie, Mineralogie und Paläontologie. Von Dr. C. W. Schmidt. Mit 296 Abbildungen. Oktav. VII, 290 Seiten. 1928. Geb. RM. 12.—

Grundzüge der physischen Erdkunde. Von Dr. Alexander Supan, Professor der Geographie an der Universität Breslau. Siebente, gänzlich umgearbeitete Auflage, unter Mitwirkung von Fachgelehrten herausgegeben von Professor Dr. Erich Obst. Groß-Oktav.

I. Band. Mit 5 Buntdrucktafeln und 113 Figuren im Text. XI, 495 Seiten. 1927. RM. 22.—, geb. 24.—

II. Band, Teil 1: **Das Land.** (Allgemeine Geomorphologie.) Mit 2 Tafeln und 151 Figuren im Text. X, 551 Seiten. 1930. RM. 22.—, geb. 24.—

II. Band, Teil 2: **Pflanzen- und Tiergeographie.** Mit 1 Tafel und 60 Figuren im Text. VI, 269 Seiten. 1930. RM. 12.50, geb. 14.—

Allgemeine Verkehrsgeographie. Von o. Prof. Dr. Kurt Hassert. Zweite, völlig umgearbeitete Auflage. Zwei Bände. Groß-Oktav.

Band I: Der Verkehr als geographische Erscheinung der Erdoberfläche und als Bewegungserscheinung. — Der Landverkehr. X, 408 Seiten. Mit 11 Karten und graphischen Darstellungen. 1931. RM. 13.50, geb. 15.—

Band II: Der Seeverkehr. Der Luftverkehr. Der Nachrichtenverkehr. Mit 6 graphischen Darstellungen. VIII, 375 Seiten. 1931. RM. 12.50, geb. 14.—

Grundriß der Zoologie. Eine Einführung in die Lehre vom Bau und von den Lebenserscheinungen der Tiere für Studierende der Naturwissenschaften und der Medizin. Von Professor Otto Steche, Privatdozent an der Universität Frankfurt a. M. Mit 6 Abbildungen und 40 mehrfarbigen Doppeltafeln. Zweite, unveränderte Auflage. Groß-Oktav. VIII, 508 Seiten. 1922. RM. 20.—, geb. 23.

Das Werk wendet sich in erster Linie an Studierende, ist aber vorzüglich dafür geeignet, jedem Gebildeten die Bedeutung der Zoologie als richtunggebend in unserer ganzen Kulturentwicklung vor Augen zu führen.

Zoologisches Wörterbuch. Von Dr. Erwin Hirsch-Schweigger, Fischereidirektor der Stadt Altona. Mit 477 Abbildungen. Oktav. VIII, 628 Seiten. 1925. (Veits Sammlung wissenschaftlicher Wörterbücher.) Geb. RM. 26.—

Die Entwicklungsgeschichte der Tiere. Von Dr. A. Goette, ehemal. Professor der Zoologie an der Universität Straßburg. Mit 102 Textfiguren. Groß-Oktav. V, 380 Seiten. 1921. RM. 9.—, geb. 10.—

Jedem, der nach gründlicher Klärung seiner entwicklungsgeschichtlichen Kenntnisse strebt, kann dieses bedeutende Werk nachdrücklich empfohlen werden. Deutsches Philologenblatt.

Deutscher Kulturatlas. Herausgegeben von Gerhard Lüdtke und Lutz Mackensen. Die Ausgabe erfolgt in Lieferungen von je 8 Karten oder in Doppellieferungen von je 16 Karten. Etwa 500 Karten. Format Querfolio.

Jede Lieferung kostet bei Subskription auf das Gesamtwerk RM. 1.60. Der Preis für Einzelkarten (Mindestbezug 8 Stück) nach beliebiger Auswahl außerhalb der Subskription beträgt RM. —.25.

Der „Deutsche Kulturatlas" gibt einen Überblick über Entstehen und Entwicklung der deutschen Kultur, wie er in dieser Geschlossenheit und Großzügigkeit bisher noch nicht geboten worden ist. Statt trockener theoretischer Belehrung lebendige Anschauung!

Jeder Karte ist ein knapper, das Wesentliche umfassender Text zur Erläuterung beigegeben.

Bestellen Sie sofort kostenlose Zusendung eines ausführlichen Prospektes mit Probekarte und Verzeichnis der bisher erschienenen und geplanten Karten!

Sammlung Göschen. Bisher sind über 1000 Bände erschienen aus folgenden Gebieten: Astronomie / Berg- und Hüttenwesen / Chemie / Eisenbahnwesen / Elektrotechnik / Erdkunde / Länder- und Völkerkunde / Geschichte und Kulturgeschichte / Handelswissenschaft / Hochbautechnik / Ingenieurbau / Kriegswissenschaft / Kunst / Land- und Forstwirtschaft / Literaturgeschichte / Maschinenbautechnik / Mathematik / Medizin, Hygiene, Pharmazie / Musik / Naturwissenschaften / Philosophie / Physik / Rechtswissenschaft / Religionswissenschaft und Theologie / Sprachwissenschaft / Stenographie / Technologie / Unterrichtswesen / Volkswirtschaft.

Jeder Band gebunden RM. 1.80.

Gesamtverzeichnisse und Sonderverzeichnisse von den obengenannten Gebieten liefern wir unter Bezugnahme auf diese Ankündigung kostenlos.

UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 124866382